



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO CON CAPACIDADES
SUPERIORES TOLERANTES A ACIDEZ DEL SUELO EN VIVERO EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL JUAN BERNITO - INSTITUTO DE
CULTIVOS TROPICALES (ICT)”**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Bach. Martín Amaringo Gómez

ASESOR:

Ing. Msc Tedy Castillo Díaz

Tarapoto - Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO CON CAPACIDADES
SUPERIORES TOLERANTES A ACIDEZ DEL SUELO EN VIVERO EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL JUAN BERNITO - INSTITUTO DE
CULTIVOS TROPICALES (ICT)”**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Bach. Martín Amaringo Gómez

Sustentada y aprobada el día 21 de mayo del 2018, ante el honorable jurado:

.....
Dr. Carlos Rengifo Saavedra

PRESIDENTE

.....
Ing. M. Sc. Armando Duval Cueva Benavides

SECRETARIO

.....
Ing. M. Sc. Segundo Darío Maldonado Vásquez

MIEMBRO

.....
Ing. M. Sc. Teddy Castillo Díaz

ASESOR

Declaratoria de Autenticidad

Martín Amaringo Gómez, identificado con DNI N°71008354, bachiller de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Agronomía, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **“IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO CON CAPACIDADES SUPERIORES TOLERANTES A ACIDEZ DEL SUELO EN VIVERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL JUAN BERNITO - INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT)”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 21 de mayo del 2018.


.....
Bach. Martín Amaringo Gómez
DNI N°71008354



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Amurango Gómez Martín		
Código de alumno :	1011804	Teléfono:	
Correo electrónico :	Martin-931@hotmail.es	DNI:	71008354

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de:	Agronomía

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Identificación de genotipos de cacao con capacidades superiores tolerantes a ácidos del suelo en vivero en la estación experimental Juan Bernier - Instituto de cultivos tropicales (ICT)
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

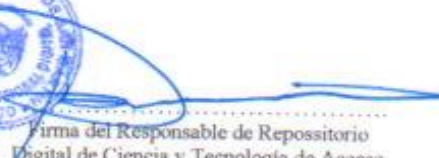

Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

13 / 12 / 2018




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Dedico este informe de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba. Es por ello que soy lo que soy ahora.

Martín.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Dr. Enrique Arévalo Gardini Coordinador General, Ing. Ángel Luis Tuesta Pinedo y Ing. Abel Farfán Pinedo del INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT).

Al Ing M.Sc. Tedy Castillo Díaz asesor de tesis (UNSM), por la orientación.

Le doy gracias a mis queridos padres Celzo Grateli Amaringo Pinchi y mi madre María Eleonor Gómez Cardenas por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mi querida pareja Elizabeth, por su apoyo y ánimo, y agradecer al Ing. Roger Cabrera por su apoyo.

Agradecemos al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (INNOVATE-PERU), por el financiamiento de acuerdo al contrato 428-PNICP-PIAP-2014.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Servicio de Investigación Agrícola (USDA-ARS) por el financiamiento del proyecto.

Martín.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
 I NTRODUCCIÓN	 1
 CAPITULO I	 2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
1.1. Antecedentes de investigaciones	2
1.2. Aluminio en los suelos	5
1.3. Toma de Aluminio por la planta	6
1.4. Síntomas de estrés por aluminio	7
1.5. Toxicidad por aluminio en plantas	8
1.6. Porcentaje de saturación de Al tolerado por algunos cultivos	8
1.7. Fitomejoramiento para la tolerancia a aluminio	9
1.8. Relación del pH con la absorción de nutrientes	10
1.9. Suelo óptimo para el cultivo de cacao	10
1.10. Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao	11
1.11. Corrección de la toxicidad por aluminio	12
 CAPITULO II	 13
MATERIALES Y METODOS	13
2.1. Ubicación del Experimento	13
2.2. Diseño y análisis estadístico	15
2.3. Conducción del experimento	16
2.4. Indicadores a evaluar	20
2.5. Población y muestra	24

CAPÍTULO III	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. Altura de planta.	25
3.2. Diámetro del tallo de la planta.	28
3.3. Número ramillas por planta.	31
3.4. Número de hojas por planta.	34
3.5. Área radicular.	37
3.6. Área foliar.	41
3.7. Biomasa fresca.	45
3.8. Longitud de raíz.	48
3.9. Índice de tolerancia a saturación de aluminio.	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Efectos esperados en función del rango del pH.	10
Tabla 2: Tratamientos en estudio.	15
Tabla 3: Análisis de varianza de la altura de planta.	25
Tabla 4: Análisis de varianza del diámetro de tallo por planta.	29
Tabla 5: Análisis de varianza del número de ramillas por planta.	31
Tabla 6: Análisis de varianza del número de hojas por planta.	34
Tabla 7: Análisis de varianza del área radicular por planta.	38
Tabla 8: Análisis de varianza del área foliar por planta.	42
Tabla 9: Análisis de varianza de la biomasa fresca por planta.	45
Tabla 10: Análisis de varianza de la longitud raíz por planta.	49
Tabla 11: Rangos de la saturación de aluminio en suelos.	53
Tabla 12: Genotipos con relación al índice de tolerancia a saturación de aluminio y su respectiva denominación.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Estructura del vivero y distribución de los tratamientos	13
Figura 2: a. Recolección de las muestras de suelos, b. Muestreo de suelo a los 20 cm de profundidad, c. Análisis de las muestras en el laboratorio de suelos (ICT)	16
Figura 3: Pesado de n-p-k y dolomita en el laboratorio de suelos (ICT)	17
Figura 4: a. Incorporación de los fertilizantes al sustrato, b. Homogenización del sustrato con los fertilizantes	17
Figura 5: a. Llenado de los baldes y posteriormente se puso en las bandejas, b. Remojo del sustrato hasta capacidad campo, c. Homogenización del agua en el sustrato, d. Tapado de los baldes para la incubación	18
Figura 6: a. Recolección de la de la muestra para la lectura de pH, b. Lectura del pH en el peachimetro	18
Figura 7: a. Plantones propagados por ramillas, b. Traslado de los plantones al vivero, c. Trasplante de los plantones a las macetas, d. Distribución de las macetas en el vivero	19
Figura 8: Riego para los plantones con 200 ml de agua	20
Figura 9: Evaluación de la altura de planta con la regla milimetrada	20
Figura 10: Evaluación del diámetro de tallo con el vernier	21
Figura 11: Evaluación del número de hojas	21
Figura 12: Evaluación del número de ramillas	22
Figura 13: Evaluación de la biomasa fresca y posterior pesado en la balanza analítica	22
Figura 14: Evaluación de la longitud de raízseudoprincipal con la regla milimetrada	23
Figura 15: Evaluación del área radicular con el programa Aps assess 2.0	23
Figura 16: Evaluación del área foliar con el programa Aps Assess 2.0	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Altura de la planta con relación a los genotipos	26
Gráfico 2: Altura de la planta con relación a los tratamientos y los genotipos	27
Gráfico 3: Diámetro de tallo de la planta de cacao con respecto a lo genotipos	29
Gráfico 4: Diámetro de tallo de la planta de cacao con respecto a los tratamientos y a los genotipos	30
Gráfico 5: Número de ramillas por planta con relación a los Genotipos.	32
Gráfico 6: Número de ramillas por planta con relación a los tratamientos y los genotipos	33
Gráfico 7: Número de hojas por planta con relación a los genotipos	35
Gráfico 8: Número de hojas por planta con relación a los tratamientos y los genotipos	36
Gráfico 9: Área radicular de la planta con relación a los genotipos	38
Gráfico 10: Área radicular de las plantas con relación a los tratamientos y los genotipos	40
Gráfico 11: Área foliar de la planta con relación a los genotipos.	42
Gráfico 12: Área foliar de la planta con relación a los tratamientos y los genotipos	44
Gráfico 13: Biomasa fresca de la planta con relación a los genotipos	46
Gráfico 14: Biomasa fresca de la planta con relación a los tratamientos y los genotipos	47
Gráfico 15: Longitud de raíz de la planta con relación a los genotipos	49
Gráfico 16: Longitud de raíz pseudo principal de la planta con relación a los tratamientos y los genotipos	51

RESUMEN

La cuenca amazónica es el centro geográfico de origen del cacao y cuenta con la mayor diversidad genética de la especie *Theobroma cacao* L. Por otro lado, los cambios climáticos de los últimos años han modificado los patrones normales de precipitación pluvial, temperatura, radiación solar que causan la erosión de los suelos, causa principal de la acidez en los suelos y por consiguiente el estrés abiótico en las plantas. Asu vez, en la amazonia peruana el 65% de los suelos son ultisoles ácidos. En estos suelos el principal problema es la toxicidad por aluminio, ya que la acidez favorece la liberación de iones aluminio Al^{3+} (Von Uesxkull y Mutert ,1995).

Este estudio se realizó en la región San Martín- Banda de Shilcayo en la Estación Experimental “Juan Bernito” del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), en la cual se desarrollan acciones orientadas en la búsqueda de alternativas tecnológicas de cultivos que no afecten el medio ambiente, entre ellos el cultivo de cacao. Bajo este contexto, con el presente trabajo de investigación se ha buscado respuestas agronómicas óptimas mediante la respuesta de genotipos de cacao a la acidez de suelo con saturación de aluminio.

Este estudio tuvo como objetivo de determinar los genotipos de cacao con capacidades superiores tolerantes a acidez del suelo con 30% y 2.5% de saturación de Al respectivamente. Se evaluó los parámetros de: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de ramillas, biomasa fresca, longitud de raíz, área radicular, área foliar y el índice de tolerancia a saturación de aluminio. Se utilizó el diseño de parcelas divididas con 40 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento haciendo un total de 120 unidades experimentales.

Los resultados muestran que los genotipos tolerantes a acidez del suelo con >30% de saturación de Al del CEC con pH 4,46 son: CEPEC - 2002 de la colección Brasileira y ICS - 1 de la colección Internacional y los genotipos de con tolerancia media son: CP – 2005 - C10 y PH - 09 de la colección Brasileira; EET - 400, ICS - 39 y ICS - 95 de la colección Internacional; ICT - 1087, ICT - 1189, ICT - 1251 y ICT - 1292 de la colección ICT; AYP - 22 de la colección Silvestre. Por otro lado, los genotipos: BN – 34, PH – 17, CEPEC – 2002, EET – 400, ICS – 95, ICS – 1, ICT – 1087, ICT – 1292, AYP – 22, UNG – 77 y PAS – 105 que mejor respondieron a la acidez del suelo con <2,5% de saturación de Al de la CEC con un pH de 5,8.

Palabras Clave: Clones de cacao, acidez del suelo, saturación de aluminio, índice de tolerancia a saturación de aluminio, genotipos, raíz pseudo principal.

ABSTRACT

The Amazon basin is the geographical center of origin of cocoa and has the greatest genetic diversity of the species *Theobroma cacao* L. On the other hand, the climatic changes of the last years have modified the normal patterns of rainfall, temperature, solar radiation that threaten soil erosion, the main cause of acidity in soils and therefore the abiotic stress in the plants.

In Peruvian Amazon, 65% of the soils are acid ultisols. In these soils, the main problem is aluminum toxicity, because the acidity favors the release of Al^{3+} aluminum ions (Von Uesxkull & Mutert, 1995). This study was conducted in the San Martín región – Banda de Shilcayo in the Experimental Station "Juan Bernito" of the Institute of Tropical Crops (ICT), in which they develop actions oriented in the search of technological alternatives of crops that do not affect the environment, among them the cultivation of cocoa. In this context, the present research work precisely search optimal agronomic responses through the response of cocoa genotypes to the acidity of soil with aluminum saturation.

This study was based with the objective of determining the cocoa genotypes with superior tolerant capabilities to soil acidity with 30% and 0.25% of Al saturation respectively. It was evaluated the parameters of: plant height, stem diameter, number of sheets, number of twigs, fresh biomass, pseudo main root length, radicular area, foliar area and the aluminum saturation tolerance index. It was used the design of divided plots with 40 treatments and 3 repetitions per treatment making a total of 120 experimental units. The results show that tolerant genotypes to soil acidity with $> 30\%$ of Al saturation of the CEC with pH 4.7 are: CEPEC - 2002 of the Brazilian collection and ICS - 1 of the International collection and the genotypes with medium tolerance are: CP - 2005 - C10 and PH - 09 of the Brazilian collection; EET - 400, ICS - 39 y ICS - 95 of the International collection; ICT - 1087, ICT - 1189, ICT - 1251 and ICT - 1292 of the ICT collection; AYP - 22 of the wild collection. On the other hand the genotypes: BN - 34, PH - 17, CEPEC - 2002, EET - 400, ICS - 95, ICS - 1, ICT - 1087, ICT - 1292, AYP - 22, UNG - 77 and PAS - 105 which responded better to the acidity of the soil with $< 2.5\%$ of Al saturation of the CEC with a pH of 5.8.

Keywords: Cocoa clones, soil acidity, aluminum saturation, aluminum saturation tolerance index, genotypes, main root pseudo.



INTRODUCCIÓN

La problemática en el país, es que predominan los suelos de reacción ácida, estando en su mayoría clasificados dentro el orden de los ultisoles (Benites J, 1981; Sánchez P y Benites J, 1983;).

En la Selva peruana el problema es que predominan los suelos ácidos, con pH de 4. 5 y niveles tóxicos de saturación de aluminio de 70 a 90% (Benites, J. 1995). El factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad de aluminio que limita la degradación microbiana de la materia orgánica, si el pH es menor de 5 (Fassbender; H., 1986).

En este trabajo de investigación se planteó la hipótesis de obtener genotipos que sean capaces de tolerar niveles tóxicos de Aluminio durante su crecimiento y desarrollo para la planta de cacao.

La importancia de selección de genotipos de cacao tolerantes a la acidez de suelo, es para obtener el material genético con comportamientos favorables de adecuación a la variabilidad climática y tipo de suelo (deficiencias o toxicidades de elementos).

El presente trabajo se realizó en la estación experimental Juan Bernito del Instituto de cultivos tropicales (ICT). Los plantones de cacao estuvieron bajo una sombra de 50%. Se utilizó el diseño de parcelas divididas para la distribución de los plantones en el vivero y consta de 40 tratamientos y 3 repeticiones. Por otro lado, se realizó un previo tratamiento del suelo con dolomita para bajar la toxicidad de aluminio y aumentar el pH.

En este trabajo de investigación se planteó como objetivo general: identificar y seleccionar los genotipos de cacao con capacidades superiores tolerantes a acidez del suelo y como objetivos específicos: seleccionar los genotipos de cacao *Theobroma cacao* L. con capacidades superiores tolerantes a acidez con >30% de saturación de Al³⁺ con pH 4,46 y seleccionar los genotipos de cacao *Theobroma cacao* L. que mejor respondan a la acidez del suelo con <0,25% de saturación de Al³⁺ con un pH de 5,88.

Este trabajo de investigación cuenta con la siguiente estructura: Capítulo I: Revisión Bibliográfica, Capítulo II: Materiales y Métodos, Capítulo III: Resultados y Discusión., Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de investigaciones

Según Rosas, Puentes y Menjivar (2017), evaluaron en la Amazonia colombiana las respuestas de los suelos fuertemente ácido cultivado con cacao (*Theobroma cacao* L.) dosis crecientes (0 - 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 Mg/ha) de cal dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y carbonato de calcio (CaCO_3), con el fin de conocer el tipo y cantidad de material encalante, de mejor reactividad y el que más favorece los cambios en la acidez: pH, Al^{3+} , H^+ y acidez total.

Se construyeron los modelos para estimar la dosis de material encalante necesaria para llevar el suelo al pH deseado ($\geq 5,5$). Posteriormente se encaló el suelo en condiciones de campo y se evaluó el efecto en pH, Al^{3+} , Al en solución, saturación de aluminio (SAI), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Fe y Mn.

Los resultados muestran que la mayor reacción de los materiales encalantes en estos suelos se presenta después de 60 días. Aplicaciones de 7 Mg/ha elevar el pH de 5,5 a 6,0 y disminuir los niveles de Al y Fe, cambios que mejoraron la CIC y la disponibilidad de nutrientes para cacao (Ca, Mg, P, Zn) sin afectar otros nutrientes como N y K.

Gracia y Leon (1979), evaluaron la respuesta de cinco híbridos (ICS-6, IMC-67, ICS-60, TSA-654 y TSA 644) de cacao de cacao a nivel de encalado en un oxisol de Carimagua Llanos Orientales. Para el estudio se utilizó la técnica de Hoa Gland descrita por Hewitt (1966), el pH de la solución trato de ajustarse permanentemente a 4.1 con concentraciones de 0 y 48 ppm de Al en solución.

Las semillas se hicieron germinar en arena y las plántulas se trasplantaron a los 30 días de edad cuando tenían su primer par de hojas abiertas a frascos con capacidad para un litro de solución cubiertas con papel de aluminio para evitar el crecimiento de algas donde permanecieron durante 40 días luego de los cuales se cosecharon y separaron en raíz y parte aérea y se secaron en estufa a 70°C por 36 horas.

Los resultados de la producción de materia seca de la parte aérea fueron bastante restringidos en el tratamiento con alto Al en comparación con la producción cuando no

se aplicó, asimismo se observó que la toxicidad de Al se manifestó como una disminución de la elongación de la raíz y en el crecimiento de la parte aérea.

Rojas (1996), evaluó efecto de la aplicación de cal en el rendimiento de naranja (*Citrus sinensis*) en un suelo ultisol con 66% de saturación de Al; en donde probó las dosis de cal: 1 t/ha, 2 t/ha y 3 t/ha y un testigo (sin cal). Obteniendo como resultado la respuesta lineal a la aplicación de diferentes dosis de cal. La dosis más alta (3t/ha) produjo el mejor rendimiento luego de tres cosechas de fruta (1995 a 1997). En dos de los tres años evaluados, la dosis de 3 t/ha produjo más del doble de rendimiento que el testigo sin cal, independientemente de la fuente utilizada (Rojas *et al.*, 1996).

Ruiz (2012), evaluó el "Efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el cultivo de cacao (*Theobroma Cacao* L.) bajo condiciones de acidez, en Ridardo Palma - Naranjillo". Se estudió el efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo en el cultivo de cacao bajo condiciones de acidez.

Los tratamientos estaban de acuerdo a la proporción; T0 =0 t/ha, T1 = 0.356 t/ha, T2 = 0.713 t/ha, T3 = 1.189 t/ha, T4 = 1.545 t/ha. El efecto de la dolomita en las propiedades físicas; tuvieron significación estadística entre tratamientos en densidad aparente, porcentaje de porosidad y análisis de agregados teniendo al tratamiento 4 (1.545 t/ha) con resultados positivos obtenidos en la investigación.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis químico mostraron valores favorables en pH pasó de un nivel extremadamente ácido a fuertemente ácido; en materia orgánica de un nivel bajo a alto; en fósforo de un nivel bajo a normal y potasio se mantuvo en un nivel bajo.

Asimismo, el tratamiento 4 (1.545 t/ha) tuvo su mayor efecto en la disminución de aluminio e hidrógeno y por consiguiente un menor porcentaje de saturación de acidez cambiante. Los resultados obtenidos en altura de planta y número de hojas se mostraron efectos positivos en el tratamiento 4 (1.545 t/ha).

Rosas (2018), evaluó los "Cambios en el pH del suelo y su relación con el uso eficiente de nutrientes en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)". Para ello utilizó clones autoincompatibles TSH-565 y ICS-39 y autocompatibles ICS-1 y CCN-51, en función

de la eficiencia agronómica(EA) y eficiencia de recuperación del fertilizante(ERF) para N, P, K, Zn y B, rendimiento, calidad física-química del grano.

Se desarrolló en tres fases: fase I inicia con la evaluación de siete dosis (0-1-3-5-7-9-11 t ha⁻¹) con dos materiales encalante (CaMg(CO₃)₂ y CaCO₃), seleccionando la dosis de 7 t ha⁻¹ de CaMg(CO₃)₂ para aumentar el pH a $\geq 5,5$, dando inicio a la fase II, que una vez alcanzado el pH $\geq 5,5$ se estimó la disponibilidad de nutrientes del suelo con y sin encalante (testigo), aumentando la disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺, P, Zn²⁺, disminuyendo Al³⁺, Fe²⁺ y Mn²⁺.

En la fase III, con cuatro tratamientos: testigo, testigo-encalado, testigo-fertilización (N, P, K+, Zn²⁺ y B) y testigo-encalado-fertilización en un diseño de bloques completos al azar, se determinó el contenido de nutrientes en hoja, cáscara y grano, EA y ERF, rendimiento, porcentaje de cascarilla, almendra, grasa, proteína y fibra en grano por clon.

Los resultados mostraron diferencias en las concentraciones de nutrientes en los tejidos de cacao; CCN-51 presentó los mayores valores de eficiencias en el uso de nutrientes y rendimiento; la calidad del grano no se afectó por cambios de pH del suelo.

Nazar (2011), evaluó el "Efecto de la dolomita en el crecimiento del *Theobroma cacao* L. (CLON CCN - 51) en un suelo ácido bajo condiciones de vivero en Tingo María". Se realizó en fase de vivero, utilizando como sustrato un suelo ácido.

El estudio consistió en la aplicación de diferentes dosis de dolomita por tratamiento según el método de saturación de bases; 60% (testigo T1), 50% (T2 = 0.39 gr de dolomita/planta), 40% (T3 = 0.78 gr de dolomita/planta), 30% (T4 = 1.16 gr de dolomita/planta), 20% (T5 = 1.55 gr de dolomita/planta), 10% (T6 = 1.94 gr de dolomita/planta) y 0% (T7 = 2.33 gr de dolomita/planta).

Los resultados a los tres meses de evaluación demostraron que el T4 con la aplicación de 1.16 gr de dolomita/planta obtuvo un efecto estadísticamente superior sobre el promedio de altura de planta, longitud de raíz y peso seco del tallo; a su vez en el tratamiento T7 (2.33 gr de dolomita/planta) el pH de extremadamente ácido pasó a fuertemente ácido y la acidez cambiante del suelo disminuyó de 60% a 23.75%.

Aranzazu, Menjivar y Puentes (2014), evaluaron la "Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)". esta investigación tuvo

como objetivo determinar la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en cuatro clones de cacao (TSH-565, ICS-39, ICS-95 y CCN-51), y su influencia en el rendimiento.

Los tratamientos consistieron en incrementos de NPK en 25 % (T1), 50 % (T2), 75 % (T3) y 100 % (T4) sobre el nivel de fertilidad natural del suelo (TR: control). Se detectaron diferencias ($P \leq 0,01$) en la eficiencia agronómica (EA) de N, P y K; la EA más alta fue para el clon CCN-51 en T1 mientras que para el resto de los clones la mayor EA ocurrió en el T2. Con el tratamiento T4 los cuatro clones tuvieron los menores valores.

La mayor eficiencia de recuperación (ER) de nitrógeno y fósforo la presentó el clon CCN-51 en el T1, y los demás clones en el T2; sin embargo, la mayor ER de potasio se presentó en el T2 para todos los clones. Los mayores rendimientos se presentaron en el clon CCN-51 en el T1, y en el resto de los clones en el T2.

En general, los menores rendimientos se presentaron para el TR y T4, lo que sugiere que el cultivo de cacao tiene un potencial de extracción de nutrientes que se traduce en buenos rendimientos, pero cuando se sobrepasa ese límite se provocaría un desbalance nutricional.

1.2. Aluminio en los suelos

La toxicidad por aluminio es el primer factor que limita la producción de cultivos en suelos ácidos, debido a que el 50% de la tierra potencialmente arable es ácida. Más del 60% de los suelos ácidos en el mundo, están en países subdesarrollados, donde la producción de alimentos es crítica (Von Uexküll & Mutert 1995).

La concentración de Al^{+3} en la solución del suelo a pH menor de 5,0 se encuentra en el rango de 10 - 100 μM , e incluso, en suelos minerales de ecosistemas forestales, la concentración de Al^{+3} soluble puede alcanzar valores cercanos a 1.000 Mm. El aluminio se reporta como el factor más limitante de la producción agrícola e suelos ácidos, los cuales comprenden alrededor del 40% de la superficie cultivable en el mundo (Matzner y Prenzel, 1992; Ma, 2000).

Con la reducción del pH del suelo, sucede la destrucción de los minerales de las arcillas y de otros silicatos, así como la solubilización de óxidos de aluminio, lo que conduce a

la degradación irreversible del suelo. El aluminio aparece en estos casos como Al^{+3} , la meteorización de los componentes del suelo permite la liberación de iones Al^{+3} a partir de la red de los silicatos de las arcillas.

La magnitud de la toxicidad por aluminio depende del contenido de elementos nutritivos en el suelo, especialmente magnesio y calcio. Por tanto, la relación $\text{Ca}^{+}/\text{Al}^{+3}$, Mg/Al y $(\text{Ca}^{+}\text{Mg}^{+}\text{K})/\text{Al}^{+3}$ en la solución del suelo resultan ser parámetros de gran importancia para determinar la posibilidad de toxicidad por aluminio. En esta última relación, se considera que el aluminio presenta condiciones de toxicidad para la planta, cuando el cociente es menor o igual que la unidad (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992).

1.3. Toma de Aluminio por la planta

El aluminio puede ser tomado por la planta con gran rapidez principalmente cuando el suelo tiene una reacción ácida. Las reacciones químicas del aluminio en el suelo son extraordinariamente complejas y diversas, y comprenden principalmente hidrólisis, polimerización y reemplazo de elementos.

Algunos monómeros resultantes de las reacciones de hidrólisis de los compuestos de aluminio han sido reconocidos como fitotóxicos, sin embargo, los reportes sobre el efecto del hidróxido de aluminio en los vegetales son contradictorios. Las reacciones de hidrólisis del aluminio semejan la reacción de un ácido fuerte, en la cual se liberan iones protones (Wallnöfer y Engelhardt, 1995).

Cuando una pequeña proporción de aluminio logra cruzar la pared celular y unirse a grupos carboxilo y fosfatos de la membrana plasmática puede alterar su fluidez (Barceló *et al.*, 1996, Kochian *et al.*, 2005), produciendo efectos característicos del síndrome de toxicidad por aluminio, como: cambios en el potencial de membrana, cambios en la actividad de los canales iónicos, alteración de la homeostasis de Ca^{2+} (Rengel & Zhang 2003)

En la actualidad se acepta que el ápice radicular juega un papel muy importante en cuanto a la respuesta a la toxicidad por aluminio y a la percepción de la presencia del elemento en forma soluble en el sustrato. Con base en las investigaciones realizadas al respecto, (Sivaguru *et al.*, 2000) sintetiza en tres aspectos el papel del ápice radicular en la respuesta al estrés por aluminio: La acumulación de aluminio es un indicador de que la sensibilidad al elemento se ubica en el ápice radicular.

Los mecanismos de tolerancia a aluminio, como la exudación de ácidos orgánicos para formar complejos con el elemento, están confinados principalmente al ápice radicular. La formación de calosa (se produce en la pared celular por enzimas llamadas calosa sintasas y se produce en respuesta al daño mecánico, infección de patógenos, presencia de aluminio) como indicador de la sensibilidad a aluminio, se induce en primer lugar en las células apicales de la corteza externa de la raíz.

1.4. Síntomas de estrés por aluminio

La concentración de Al en las plantas cultivadas usualmente es más alta en las raíces que en los tejidos aéreos. El primer síntoma perceptible cuando se presenta toxicidad por Al es la reducción del crecimiento radicular en longitud, las raíces afectadas por Al exploran un volumen muy limitado del suelo y así se reduce su capacidad para tomar los nutrientes y el agua.

El Aluminio interfiere con la toma, el transporte y la utilización de los elementos nutritivos. La inhibición del crecimiento y el engrosamiento de raíces expuestas a aluminio sugieren que el citoesqueleto puede ser el blanco de la toxicidad por el metal. (Wright, 1989).

Estudios realizados en el cultivo de maíz, demostraron mediante microscopia indirecta de inmunofluorescencia, se visualizaron los microtúbulos y los microfilamentos en raíces de *Zea mays* y los cambios en su organización y estabilidad se correlacionaron con los síntomas de la toxicidad por Aluminio.

Los estudios del crecimiento demostraron que el sitio de la toxicidad por Aluminio fue asociado a la zona de elongación. Dentro de esta región, el Al^{+3} dio lugar a una reorganización de los microtúbulos en la corteza interna. Sin embargo, la orientación de los microtúbulos en la corteza y en la epidermis externa no cambió, incluso después de que los síntomas crónicos de la toxicidad se manifestaran.

Los resultados sugieren que el efecto de la estabilización de la corteza externa causada por el metal, coincidió con la inhibición del crecimiento. Los microfilamentos reorientados también fueron observados en raíces tratadas con Al^{+3} . Estos datos demuestran que la reorganización y la estabilización del citoesqueleto están asociadas íntimamente a la toxicidad por Al^{+3} en raíces del maíz (Blancaflor *et al.*, 1998).

1.5. Toxicidad por aluminio en plantas

En los suelos ácidos la toxicidad por aluminio es una de las limitaciones para la producción de los cultivos (Von Uesxkull & Mutert 1995). No obstante, en condiciones de suelos ácidos (pH 5.5-4.5, o <4.5) los iones aluminio (Al^{3+}) se solubilizan y pueden penetrar células radicales, lo cual inhibe el crecimiento de las raíces y dificulta la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y calcio (Kochian *et al.*, 2005).

El grado de toxicidad varía ampliamente dependiendo de la especie de la planta, las condiciones de crecimiento, las concentraciones de aluminio y el tiempo de exposición (Delhaize & Ryan 1995, Kochian *et al.*, 2004).

La respuesta de mayor susceptibilidad por fitotoxicidad aluminio ocurre a los pocos minutos de exposición y trae como consecuencia retraso en el crecimiento de la raíz y abundancia de raíces laterales cortas que se tornan gruesas y frágiles, al parecer debido a la alta afinidad del aluminio con elementos como grupos fosfatos, sulfatos y carboxilos entre otros, que constituyen componentes celulares como pared celular, membranas y ácidos nucleicos (Matsumoto *et al.*, 1976, Chang *et al.*, 1999, MacKinnon *et al.*, 2004).

Gran parte de los blancos del aluminio corresponden a componentes de la pared celular, lo cual altera sus propiedades mecánicas afectando la elongación de las células (Barceló *et al.*, 1996, Poschenrieder *et al.*, 2008).

A pesar que la membrana plasmática parece ser altamente impermeable a cationes trivalentes, bajas tasas de aluminio tóxico para la célula pueden entrar hacia el citoplasma a través de mecanismos que aún no son claramente conocidos (Poschenrieder *et al.*, 2008).

Cuando una pequeña proporción de aluminio logra cruzar la pared celular y unirse a grupos carboxilo y fosfatos de la membrana plasmática puede alterar su fluidez (Barceló *et al.*, 1996, Kochian *et al.*, 2005).

1.6. Porcentaje de saturación de Al tolerado por algunos cultivos

La tolerancia a la acidez del suelo es muy variable entre cultivos, y dentro de una misma especie existen diferencias notables entre variedades. Algunos cultivos desarrollados originalmente en suelos calcáreos, como el algodón, sorgo y alfalfa, son susceptibles a

niveles de 1 O a 20% de saturación aluminica, mientras que otros que han crecido en ambientes más silvestres son altamente tolerantes (MOLINA, 1998).

Cuadro 1

Porcentaje de saturación de aluminio tolerado por algunos cultivos en suelos ácidos

Cultivos	% de Saturación de Al tolerado			% de Sat. De Al recomendado
	Alto	Medio	Bajo	(RAS)
Arroz	x	x	x	
Maíz		40		25
Frijol negro			x	<20
Maní		40		<25
Caupí	60			<40
Papa		30		<20
Yuca	75			<60
Plátano		x		25
Coco		x		<30
Mango		x		<20
Cítricos				<30
Piña	x			<30
Cacao		x		<30
Palma aceitera		x		<15
Caña de azúcar		x		<20
Café		40		<25

FUENTE: MOLINA, 1998.

1.7. Fitomejoramiento para la tolerancia a aluminio

Una aproximación efectiva frente a los problemas que causan los suelos ácidos y la toxicidad por aluminio en la producción de los cultivos es obtener cultivares tolerantes; lo cual podría lograrse a través de tres estrategias principales:

- ✓ **Mejoramiento convencional**, que se basa en recombinación sexual, por lo que se realizan cruces dirigidos seleccionando los parentales y sus descendientes en dirección a una característica agronómica determinada.
- ✓ **Mejoramiento molecular**, que involucra el desarrollo de poblaciones segregantes para la tolerancia al estrés y se identifican marcadores moleculares ligados a loci de características cuantitativas (QTL) que contribuyan a la tolerancia al estrés, para posteriormente realizar selección asistida por marcadores (MAS).

- ✓ **Ingeniería genética**, en la que se conserva la integridad del genotipo parental, insertando solo una pequeña porción adicional de información que controla la característica deseada (Navakode *et al.*, 2009).

1.8. Relación del pH con la absorción de nutrientes

El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces, como se observa en la tabla 1. Así, suelos muy ácidos para cacao presenta deficiencias de N, P, K, Mg, Ca y S y posible toxicidad por Al^{+3} , y una actividad bacteriana lenta, en relación a suelos alcalinos calcáreos se presentan clorosis en cacao por deficiencias de Fe, Mn y Zn. Los mejores suelos para cacao están en pH de 6.0 a 6.5, considerados según la tabla de rango, suelos ligeramente ácidos (Cueva, 2013).

Tabla 1

Efectos esperables en función del rango del pH

Rango de pH	Denominación	Efectos esperables
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonatos cálcico. Actividad bacteriana escasa.
5,1-5,5	Fuertemente ácido	
5,6-6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos
6,1-6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,5-7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos (por debajo de pH = 7 el carbonato cálcico no es estable en el suelo)
7,3-8,4	Alcalino-calcáreos	Deficiencias de Fe, Mn, y Zn. Clorosis afecta las plantas

1.9. Suelo óptimo para el cultivo de cacao

La selección de un suelo apropiado es fundamental para obtener cultivos de cacao de alta productividad. Si este no cumple los requisitos mínimos para el desarrollo adecuado de la planta, el cultivo no funcionará, aunque se utilicen materiales élite de alto rendimiento.

La textura del suelo es una propiedad de gran importancia para la agricultura. En el caso del cacao, la mejor textura corresponde a suelos francos a franco-arcillosos (Wood, 1982; Thompson y Troeh, 1982). Pero Amores (2005) selecciona a los suelos aluviales, de textura franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arenosa, suelto y profunda, que le permitan la raíz principal penetrar de 80 a 150 centímetros, como las condiciones idóneas.

El pH debe estar en el rango de 6.0 a 7.5 en la capa superficial, sin ser excesivamente ácido (pH menor a 4.0) o alcalino (pH mayor a 8.0), hasta una profundidad de un metro (Wood, 1982). Además, el suelo debe tener materia orgánica que incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y disminuir la compactación, entre otros beneficios (Sánchez, 1981).

La descomposición de la materia orgánica, produce la liberación de N y S, como única abastecedora natural de ambos nutrientes (Graetz, 2000), además de su importante contribución al P al suelo. Los agregados particularmente los más grandes, imparten una estructura conveniente a las capas superiores de los suelos con alta productividad. La estructura se mantiene estable por los compuestos orgánicos y residuos secretados por la micro fauna y micro flora que habita el suelo.

Estos compuestos unen las partículas de arena, limo y arcilla para formar los agregados, lo que a su vez conduce a la formación de la estructura granular que es la ideal para la mayoría de los cultivos.

El cacao durante su ciclo productivo deposita cantidades considerables de hojarasca, entre 145 Kg ha⁻¹ a los 4 años de plantado hasta 500 y 1500 Kg ha⁻¹, a los 10 y 15 años respectivamente, en el bh-PM es mayor la acumulación, alcanza 2000 Kg ha⁻¹ (Leiva y Ramírez, 2012).

1.10. Extracción y requerimientos de nutrientes para producción de cacao

Este cultivo durante el establecimiento, inmoviliza cantidades de nutrientes, para formar la estructura; en la etapa productiva esta tendencia decrece, pues gran parte de los minerales son utilizados en formación de frutos (Amores, F. 1992). Sáenz (1990) resalta la importancia de suministrar los nutrientes adecuados, acorde con el desarrollo y la

producción del cultivo en general, e incluye estimativos de la cantidad de nutrientes absorbidos por el cacao en distintos estados de desarrollo.

Cuadro 2

Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por plantas de cacao em diferentes estados de desarrollo.

Estado de la planta	Edad de la planta(meses)	Requerimiento nutricional médio en Kg- há ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg
Vivero	2-6	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1
Crecimiento	28	136	14	151	113	47
Produccion	50	438	48	633	373	129

Fuente Saenz, 1990.

1.11. Corrección de la toxicidad por aluminio

La adición de materia orgánica puede reducir la fitotoxicidad por aluminio mediante la formación de complejos entre los compuestos orgánicos con el Aluminio (Hue *et al.*, 1986; Kerven *et al.*, 1989).

El efecto de la cal (1,76 gr) en el cultivo de cacao aumentó el desarrollo de las plantas, tanto en diámetro y altura del tallo (1 m) en campo definitivo (DE MELLO *et al.*, 2004).

Dolomita como material encalante, se utiliza generalmente cuando la especie a cultivar es poco tolerante a la acidez del suelo, sugiere el uso de enmiendas; sea a través de la adición de cenizas o cal (Alvarado y Loarte, 2004).

La investigación llevada a cabo en Tingo María por AGOSTA (1984) muestra, que el uso de la dolomita aumenta el pH de 4,18 a 4,63 y a su vez disminuye el Al en el suelo, por lo tanto (BENITES, 1984) sugiere, como una de las alternativas más efectivas para recuperar los suelos ácidos en el Alto Huallaga.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del Experimento

El presente trabajo de investigación se ejecutó a nivel de vivero, específicamente en la Estación Experimental “Juan Bernito” del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). Que se encuentra ubicado en el margen izquierdo de la carretera Fernando Belaúnde Terry, en el distrito de la Banda de Shilcayo, a 2.5 km de la ciudad de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín.

a. Ubicación política

Distrito	:	Banda de Shilcayo
Provincia	:	San Martín
Departamento	:	San Martín.
Sector	:	Venecia

b. Ubicación geográfica

Latitud sur	:	06° 00' 28''
Longitud oeste	:	76° 00' 18''
Altitud	:	333 m.s.n.m.m.

c. Dimensiones del vivero

El vivero contó con una sombra de 50% para ello se puso una malla especial para lograr dicha condición y también se puso un plástico transparente para que los días que llueva no se inunden los baldes. El vivero tuvo las siguientes dimensiones:

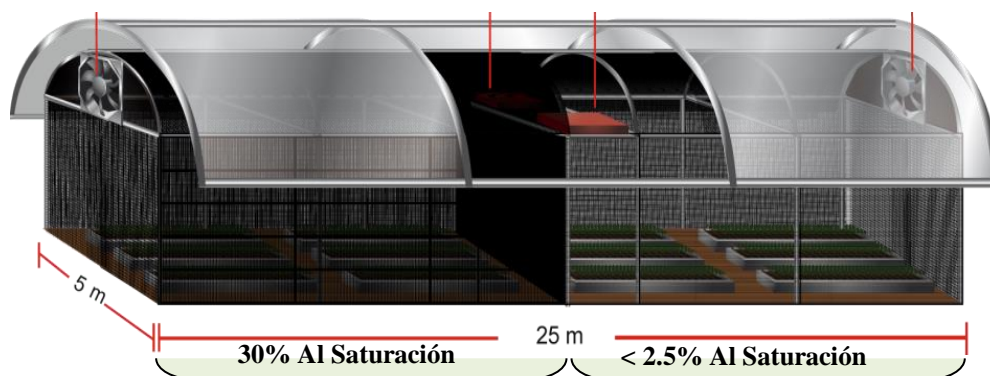


Figura 1: Estructura del vivero y distribución de los tratamientos

d. Procedencia de los clones de cacao

Los clones de cacao fueron colectados del banco de germoplasma de la estación experimental y reproducidas de manera sexual por el método de propagación por estacas (ramillas).

- COLECCIÓN BRASIL: BN-34, CEPEC-2002, CP-2005-C10, PH-09 y PH-17 como su mismo nombre lo dice tienen el origen brasileiro.
- COLECCIÓN INTERNACIONAL: EET-400 (de origen ecuatoriano), ICS-39, ICS-6, ICS-95, ICS-1 tienen origen trinitario.
- COLECCIÓN ICT: ICT-1087, ICT-1189, ICT-1251, ICT-1292 tienen origen peruano (Departamento: San Martín, Provincia: Tocache. Por otro lado, ICT-2171 también de origen peruano (Departamento: San Martín, Provincia: Mariscal Cáceres).
- COLECCIÓN SILVESTRE: AYP-20 y AYP-22 tienen origen peruano provenientes de los alrededores del Río Aypena (Departamento: Loreto, Provincia: Alto Amazonas). Por su parte, PAS-105 también de origen peruano provenientes de los alrededores del Río Pastaza (Departamento: Loreto, Provincia: Datem del Marañón).

Finalmente, UNG-77 también de origen peruano provenientes de los alrededores del Río Ungurahui (Departamento: Loreto, Provincia: Datem del Marañón).

e. Procedencia de la Dolomita

La dolomita fue comprada en la tienda comercial "Chablör Productos Orgánicos", cuya composición química es de: C: 13,03%, Mg: 13,18%, Ca: 21,73%, O: 52,06%, CO₃: 65,07%.

f. Periodo de ejecución

El periodo de ejecución del trabajo experimental se realizó desde el mes de agosto del 2015 hasta marzo del 2016. El presente estudio fue bajo el asesoramiento del Ing. Abel Farfán Pinedo, especialista en cacao del Instituto de Cultivos Tropicales y del Ing M.Sc. Tedy Castillo Díaz como asesor de la Facultad de Ciencias Agraria de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

2.2. Diseño y análisis estadístico

a. Diseño Experimental

Se utilizó el diseño de parcelas divididas para la ubicación de los plantones en vivero. El diseño consta de 40 tratamientos y 3 repeticiones.

Tabla 2

Tratamientos en estudio

Genotipos		Niveles	Tratamientos	Genotipos		Niveles	Tratamientos
Colección ICT	G1: ICT-1087	N1	T1= G1N1	Colección Brasileira	G11: CP-2005C10-H	N1	T21= G11N1
		N2	T2= G1N2			N2	T22= G11N2
	G2: ICT-1189	N1	T3= G2N1		G12: CEPEC-2002-AUTO	N1	T23= G12N1
		N2	T4= G2N2			N2	T24= G12N2
	G3: ICT-2171	N1	T5= G3N1		G13: PH-09	N1	T25= G13N1
		N2	T6= G3N2			N2	T25= G13N2
	G4: ICT-1292	N1	T7= G4N1		G14: PH-17	N1	T27= G14N1
		N2	T8= G4N2			N2	T28= G14N2
	G5: ICT-1251	N1	T9= G5N1		G15: BN-34	N1	T29= G15N1
		N2	T10= G5N2			N2	T30= G15N2
Colección Internacional	G6: ICS-1	N1	T11= G6N1	Colección Silvestre	G16: UNG-77	N1	T31= G16N1
		N2	T12= G6N2			N2	T32= G16N2
	G7: ICS-6	N1	T13= G7N1		G17: UNG-53	N1	T33= G17N1
		N2	T14= G7N2			N2	T34= G17N2
	G8: ICS-39	N1	T15= G8N1		G18: PAS-105	N1	T35= G18N1
		N2	T16= G8N2			N2	T36= G18N2
	G9: ICS-95	N1	T17= G9N1		G19: AYP-20	N1	T37= G19N1
		N2	T18= G9N2			N2	T38= G19N2
	G10: EET-400	N1	T19= G10N1		G20: AYP-22	N1	T39= G20N1
		N2	T20= G10N2			N2	T40= G20N2

Leyenda:

Genotipos evaluados: **G1, G2, G3, G4,....., G20**

pH 4.46 con > 30% de saturación de aluminio: **N1**

pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio: **N2**

b. Análisis estadístico

Los datos estuvieron sujetos al análisis de varianza (ANOVA) al 0.05 de significancia y se evidencio diferencia significativa usando la prueba de Scott & Knott. El análisis de los datos fue empleando el programa estadístico INFOSTAT.

2.3. Conducción del experimento

a. Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó en diferentes áreas previamente seleccionados (Tarapoto, Juan Guerra, San Antonio de Cumbaza, Choclino-ICT, Juan Bernito-ICT) con la finalidad de encontrar un suelo con de pH de 4.5 con >30% de saturación de aluminio aproximadamente. Se concluyo que la muestra con estas características fue la de Juan Bernito-ICT.

El muestreo se realizó a los 20 cm de profundidad, una vez obtenido las muestras se trasladó al laboratorio de suelos y aguas del Instituto de Cultivos Tropicales. Finalmente se obtuvo el análisis del laboratorio, ver anexo 1.



Figura 2: A. Recolección de las muestras de suelos, B. Muestreo de suelo a los 20 cm de profundidad, C. Análisis de las muestras en el laboratorio de suelos (ICT)

b. Preparación de sustrato para el experimento

Una vez obtenido el suelo con pH de 4.46 con >30% saturación de aluminio requerido para el trabajo de investigación se realizó el ensayo de estandarización del pH del suelo con dolomita, como lo muestra el gráfico del Anexo 2. Finalmente, de acuerdo a los resultados del análisis de laboratorio (Anexo 3) se determinó que se utilizarían 2.5 g de dolomita por un kilogramo de suelo.

c. Aplicación de la dolomita y fertilizantes

c.1. Pesado de N-P-K y Dolomita.

Se realizó el cálculo y pesado en la balanza analítica para cumplir con la metodología de investigación del protocolo, se pesó 1500 Kg de suelo tamizado y se aplicó la fórmula de abonamiento (60 N - 50 P₂O₅ - 90 K₂O kg /ha). Según la densidad aparente del suelo: 1.53 g/cc. Para ello se pesaron lo siguiente: urea 64 g, superfosfato triple 53.3 g, cloruro de potasio 74 g y dolomita 3750g.



Figura 3: Pesado de N-P-K y Dolomita en el laboratorio de suelos (ICT)

c.2. Preparación del sustrato y fertilización para la incubación de dolomita

Esta actividad consistió en tamizar los 1500 kg del suelo (pH 4.46) en un lugar limpio para evitar contaminación. Después se agregaron N-P-K y Dolomita homogéneamente por todo el sustrato.



Figura 4: A. Incorporación de los fertilizantes al sustrato, B. Homogenización del sustrato con los fertilizantes

c.3. Incubación de la dolomita

Después de haber homogeneizado el sustrato con los fertilizantes se ubicó el sustrato en cada balde. Posteriormente se puso el sustrato en bandejas y se agrega 800 ml de agua y a su vez se remojo uniformemente el sustrato y se volvió a poner en los baldes para la incubación por 5 días.

A los 5 días cumplidos, destapamos dejándolo por 2 días; después se remojó hasta capacidad campo y se tapó. Se repitió la operación por 3 semanas posteriores.



Figura 5: A. Llenado de los baldes y posteriormente se puso en las bandejas, B. Remojo del sustrato hasta capacidad campo, C. Homogenización del agua en el sustrato, D. Tapado de los baldes para la incubación

c.4. Evaluación del pH del sustrato

La incubación de la dolomita tuvo como finalidad elevar el pH de 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio a 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio que el experimento requirió, se evaluó la incubación de la dolomita a los 7 días.



Figura 6: A. Recolección de la de la muestra para la lectura de pH, B. Lectura del pH en el peachímetro

d. Trasplante de los plantones de la bolsa a las macetas

Los plantones de cacao utilizados fueron propagados por ramillas de 4 meses de edad, el trasplante de los plantones se realizó con muchísimo cuidado de romper las raíces de los plantones.

Después de haber removido los plantones de las bolsas se lavaron las raíces con agua destilada y se aplicaron fungicida a base de sulfato de cobre. Luego se trasladaron los plantones ya en las macetas al vivero con una previa identificación y etiquetado de cada genotipo.



Figura 7: A. Plantones propagados por ramillas, B. Traslado de los plantones al vivero, C. Trasplante de los plantones a las macetas, D. Distribución de las macetas en el vivero

e. Riegos

Esta actividad consistió en aplicar 200 ml de agua a las macetas en la base del tallo uniformemente, el riego se realizó pasando un día. Para ello se utilizó un balde y una tara de 200 ml.



Figura 8: Riego para los plantones con 200 ml de agua

2.4. Indicadores evaluados

Todas estas variables que se mostraran a continuación se evaluaron cada 15 días durante los 6 meses y registraron en la ficha de evaluación.

a) Altura de planta

Para la evaluación del tallo, se realizó la medición desde la base del tallo hasta la parte extrema superior del tallo con la ayuda de una regla milimetrada de 60 cm.



Figura 9: Evaluación de la altura de planta con la regla milimetrada

b) Diámetro de tallo

El diámetro de tallo se midió utilizando un vernier digital, la cual nos brindó datos más exactos. Las mediciones se realizaron en la base del tallo.



Figura 10: Evaluación del diámetro de tallo con el vernier

c) Número de hojas

Se contabilizó el total de hojas por planta, esta evaluación consistió en contar las hojas a simple vista observando bien cada plantón.



Figura 11: Evaluación del número de hojas

d) Número de ramillas

Se consideró ramilla a todo brote que sobrepase los 5 cm de longitud y que tenga una hoja como mínimo, se contaron el total de ramillas desde la parte basal hasta el ápice del plantón.



Figura 12: Evaluación del número de ramillas

e) Biomasa fresca

Para determinar la biomasa fresca se extrajo el plantón de las macetas y se lavó las raíces con mucho cuidado, después se pesó las plantas en la balanza digital.



Figura 13: Evaluación de la biomasa fresca y posterior pesado en la balanza analítica

f) Longitud de raízseudoprincipal

Para determinar la longitud de raízseudoprincipal se cortó en la base del tallo, luego se midió con regla milimetrada desde la base hasta la raíz más larga.



Figura 14: Evaluación de la longitud de raíz con la regla milimetrada

g) Área radicular

Para determinar el área radicular (en cm^2) se extrajo la raíz y se colocó sobre una cartulina blanca junto con un rectángulo de color amarillo con dimensiones de 2×1 , posteriormente se tomó una fotografía y con ayuda del programa APS Assess 2.0 se realizó las lecturas. Así se obtuvo el área radicular.



Figura 15: Evaluación del área radicular con el programa APS Assess 2.0

h) Área foliar

Para determinar el área foliar (cm^2) se extrajo todas las hojas del plantón y se colocó sobre una cartulina blanca junto con un rectángulo de color amarillo con dimensiones

de 2x1, posteriormente se tomó una fotografía y con ayuda del programa APS Assess 2.0 se realizó las lecturas. Así se obtuvo el área foliar.



Figura 16: Evaluación del área foliar con el programa APS Assess 2.0

i) Formula del cálculo del índice de tolerancia a saturación de Aluminio

Para calcular el índice de tolerancia a saturación de Aluminio (SATI) se utilizó la ecuación planteada por (Baligar *et al.*,1993).

$$SATI = \left[\frac{((\text{PESO SECO SHOOT}) + \text{PESO SECO DE RAIZ})_{\text{pH } 4.46}}{((\text{PESO SECO SHOOT}) + \text{PESO SECO DE RAIZ})_{\text{pH } 5.88}} \right] \times 100$$

Shoot: combinación de hoja y tallo.

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

Una colección de 60 genotipos de cacao del ICT, del banco de germoplasma de la Estación Experimental "El Chocolino" políticamente se encuentra en el distrito de La Banda de Shilcayo, provincia de San Martín, región de San Martín. El rango de altitud va desde 500 a 530 msnm.

2.5.2. Muestra

El presente trabajo se llevó a cabo en un total de 20 genotipos de cacao.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tratamiento estadístico e interpretación y discusión de cuadros

3.1. Altura de planta

Al sistematizar y procesar la información obtenida para la altura de planta, el análisis de varianza (tabla 3) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos, lo que nos indica que al menos uno resultó ser diferente a los demás.

Tabla 3:

Análisis de varianza de la altura de planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	F.C	P-valor Sig.
Tratamiento	15.84	1	15.84	0.31	0.6315 N.S
Genotipo	2978.88	19	156.78	4.46	<0.0001 *
Trat*Genotipo	956.82	19	50.36	1.43	0.1693 N.S
Error	1335.56	38	35.15		
Total	7544.55	119			
C.V. = 12.78%			$R^2 = 82\%$		

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 1 muestra los resultados de altura de planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$). Allí se observa que existe diferencias significativas entre genotipos.

Apreciándose que los genotipos de la colección Brasileira: PH – 09, BN – 34 y CP 2005 – C10 tuvieron diferencias significativas en comparación con CEPEC – 2002 y PH – 17. Asimismo, los genotipos de la colección Internacional: ICS – 95, ICS – 39, ICS – 6 y EET – 400 tuvieron diferencias significativas en comparación con ICS – 1.

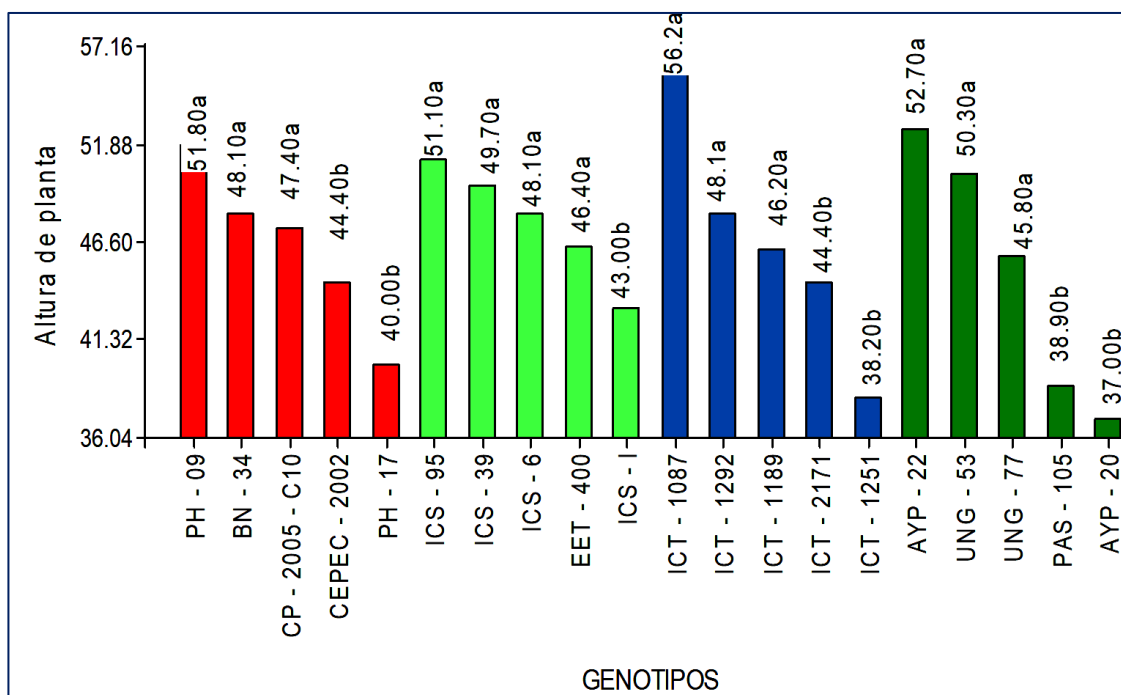


Gráfico 1: Altura de la planta con relación a los Genotipos

Asu vez los genotipos de la colección ICT: ICT – 1087, ICT – 1292 y ICT – 1189 tuvieron diferencias significativas en comparación con ICT – 2171 y ICT – 1251. Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre: AYP – 22, UNG – 53 y UNG – 77 tuvieron diferencias significativas en comparación con PAS – 105 y AYP – 20.

En el grafico 2, por su parte muestra la altura de planta de acuerdo a la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), en este se muestra que existe diferencias significativas entre la interacción tratamiento por genotipo. En donde se observa que los Genotipos ICT – 1189 y UNG – 77 obtuvo diferencias significativas en el tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio en comparación a pH 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio.

Por otro lado, los Genotipos CEPEC – 2002, CP – 2005 – C10 y EET – 400 tuvieron diferencias significativas en el tratamiento pH 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

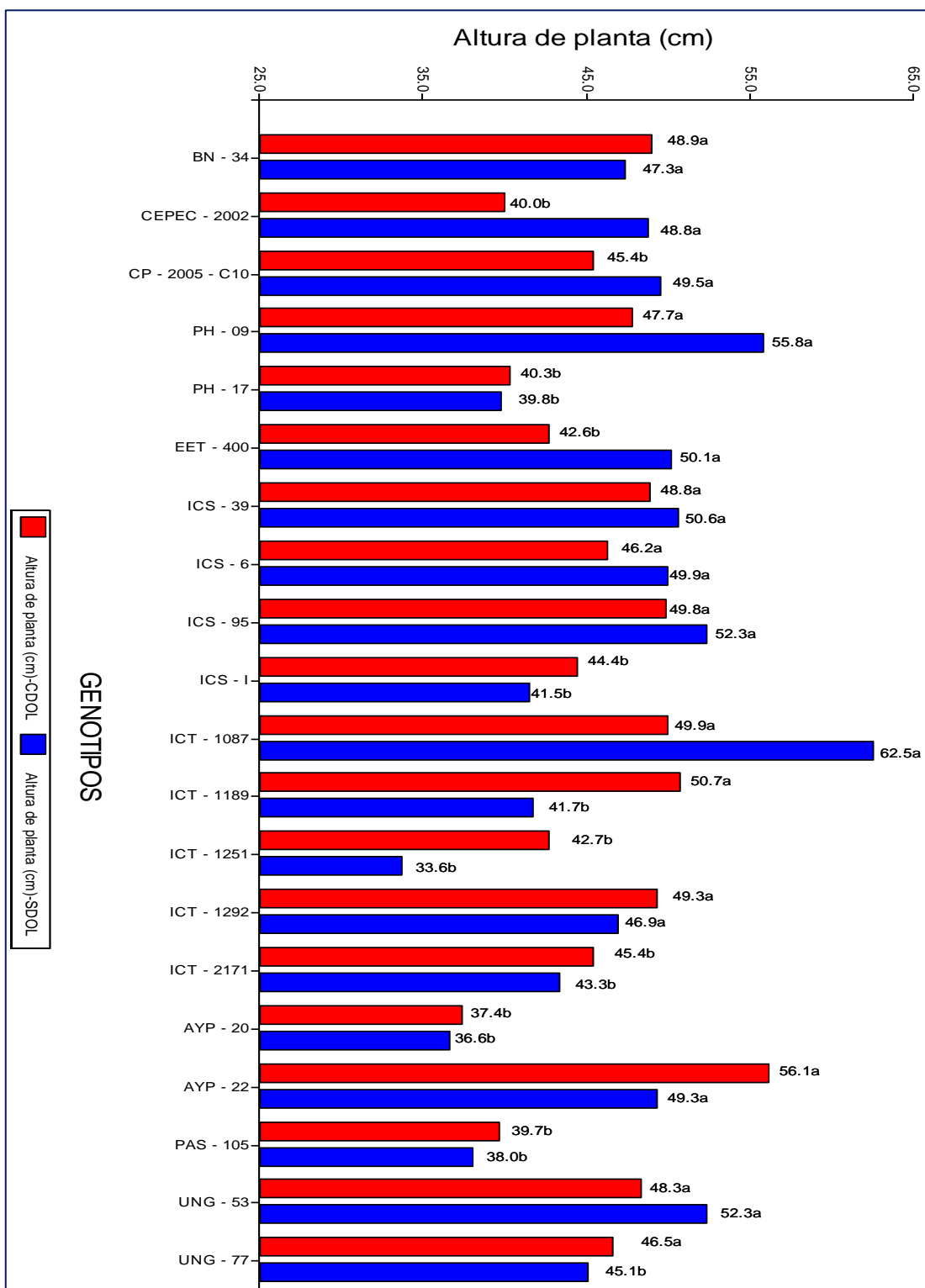


Gráfico 2: Altura de la planta con relación a los tratamientos y los Genotipos

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre la altura de planta, el genotipo ICT – 1189 y UNG – 77 del tratamiento con pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio obtuvieron mayores alturas en comparación a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

Coincide con Ruiz (2012), que obtuvieron resultados después de incorporar el material encalante; en T0 (testigo) y T4 (1.545 t/ha), existe diferencias estadísticas y numéricamente el T4 es mayor en promedio. Asu vez, los resultados obtenidos en tratamiento testigo; demuestra que el aluminio obstaculiza la translocación de nutrientes a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales principalmente de P, Ca y Mg (GIL, 1995).

A su vez MOLINA (1998), menciona que cuando el aluminio e hidrogeno se acumulan en el suelo en cantidades elevadas, puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas poco tolerantes a su presencia.

Por otro lado, los resultados de los genotipos CEPEC – 2002, CP – 2005 – C10 y EET - 400 tuvieron diferencias significativas en el tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio a comparación del tratamiento pH de 5.88 con <0,25% de saturación de aluminio.

Al respecto, estudios realizados en suelos con condiciones acidas y saturación de metales han demostrado que IMC 67 y PA 121 como promisorios para su explotación en sitios con características de infertilidad o de limitaciones por alta acidez. (García & León, 1978; Palencia et al, 2004, 2007, 2009). Dado que los diferentes genotipos dentro de una misma especie presentan variaciones genéticas considerables en relación con su tolerancia al Aluminio (Casierra & Aguilar, 2007)

3.2. Diámetro del tallo de la planta

Al sistematizar y procesar la información obtenida para el diámetro de tallo, el análisis de varianza (tabla 4) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos, lo que nos indica que al menos uno resulto ser diferente a los demás.

Tabla 4:

Análisis de varianza del diámetro de tallo por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	7.91	1	7.91	0.0389 N.S
Genotipo	58.18	19	3.06	0.0071 *
Trat*genotipo	26.32	19	1.39	0.3473 N.S
Error	45.83	38	1.21	
Total	165.33	119		

C.V. = 10.13%

 $R^2 = 72\%$

Fuente. Elaboración propia

El grafico 3 muestra el diámetro de tallo de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), allí se muestra que existe diferencias significativas entre genotipos. Apreciándose que los genotipos de la colección Brasileira BN - 34, CEPEC - 2002 y CP 2005 - C10 tuvieron diferencias significativas a comparación con PH - 09 y PH - 17. Por otro lado, los genotipos de la colección Internacional no muestran diferencias significativas.

Asimismo, los genotipos de la colección ICT, ICT - 1087 obtuvo diferencias significativas a comparación con ICT - 1189, ICT - 1251, ICT - 1292 y ICT - 2171. Finalmente los Genotipos de la colección Silvestre AYP - 20 y AYP - 22 obtuvieron diferencias significativas a comparación con PAS - 105, UNG - 53 y UNG - 77.

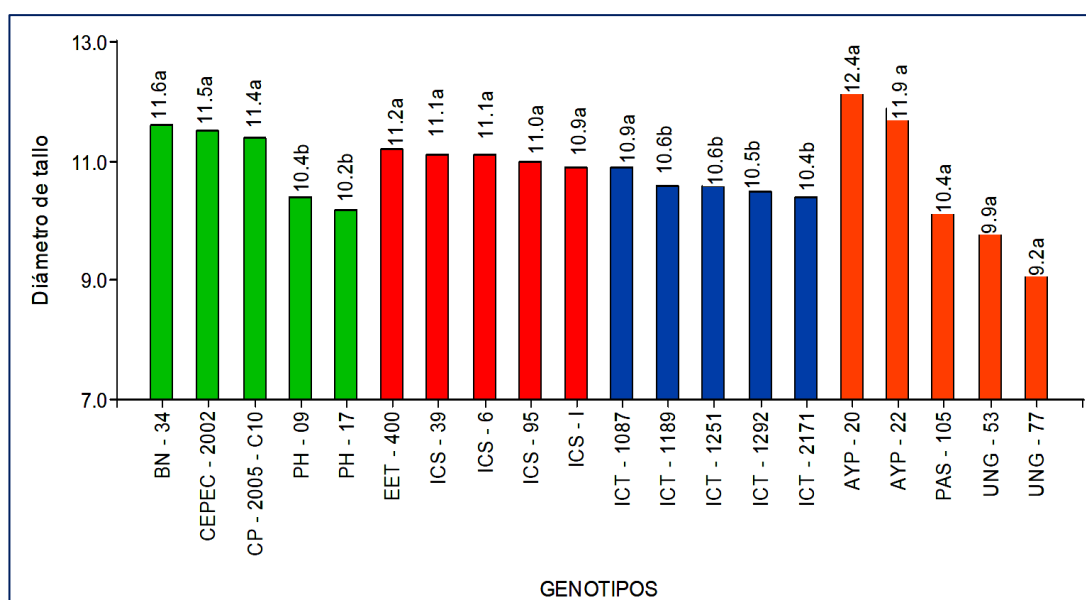


Gráfico 3: Diámetro de tallo de la planta de cacao con relación a los Genotipos

En el grafico 4, se muestra el diámetro de tallo de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), menciona que no existe diferencias significativas entre la interacción tratamiento por genotipo.

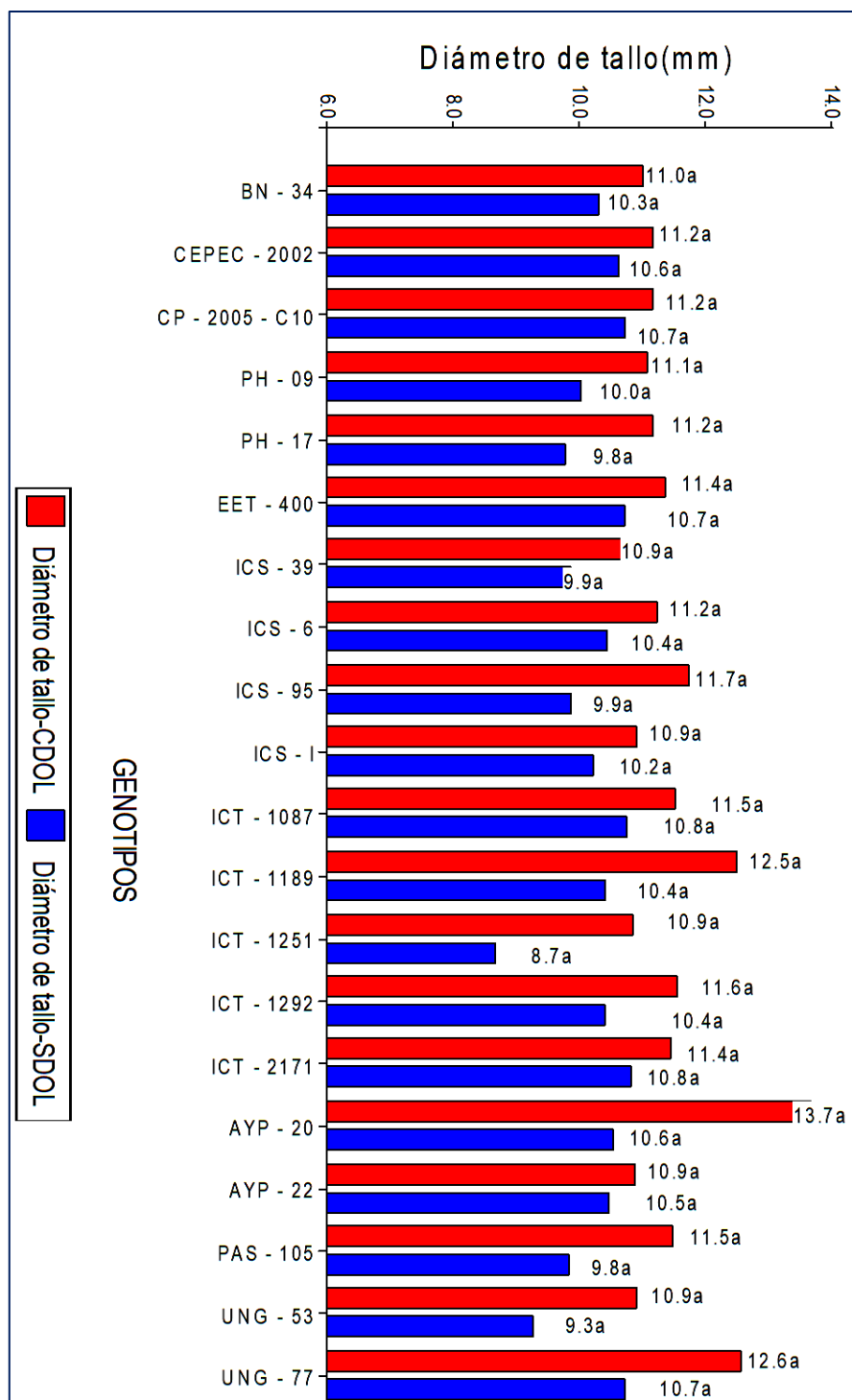


Gráfico 4: Diámetro de tallo de la planta de cacao con respecto a los Tratamientos y Genotipos

En cuanto a los resultados obtenidos del promedio de diámetro de tallo entre la interacción tratamientos por genotipo. Se aprecia que los genotipos del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tuvieron mayor diámetro con un promedio de 11.1 mm a comparación del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio que tuvieron un promedio de 10.6 mm.

Coincide con (Mello *et al.* 2004), que evaluó el diámetro de tallo en donde obtuvo que el efecto de la cal (1,76 gr/planta) en el cultivo de cacao aumentó el desarrollo de las plantas, tanto en diámetro y altura del tallo en campo definitivo.

Se confirma los resultados del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de acuerdo con Rowell (1994), que afirma que en los suelos ácidos la toxicidad por aluminio es el principal factor, con efectos directos en el metabolismo de las plantas, incluyendo una interferencia con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz.

Asu vez Hargrove (1986) menciona que en los suelos ácidos con pH menores a 5 la disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno(N) y fosforo (P) es bajo, nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta.

3.3. Número ramillas por planta

Al sistematizar y procesar la información obtenida para el numero de ramillas por planta, el análisis de varianza (tabla 5) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad tratamiento y genotipos, lo que nos indica que al menos uno resultado ser diferente a los demás.

Tabla 5

Análisis de varianza del número de ramillas por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	20.83	1	20.83	0.0145 *
Genotipo	463.13	19	24.38	0.0005 *
Trata*genotipo	116.83	19	6.15	0.6079 N.S
Error	265.72	38	6.99	
Total	1016.8	119		

C.V. = 21.32%

$R^2 = 74\%$

Fuente. Elaboración propia

El gráfico 5, se demuestra que, el número de ramillas de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), donde se denota que existe diferencias significativas entre genotipos.

Observándose que los genotipos de la colección Brasileira BN -34 y PH - 17 tuvieron valores de 13 y 10 ramillas los que tuvieron mayor cantidad y estadísticamente son diferentes a comparación con CEPEC - 2002, CP 2005 - C10 y PH - 09. A su vez, los genotipos de la colección Internacional, colección ICT y la colección Silvestre no mostraron diferencias significativas.

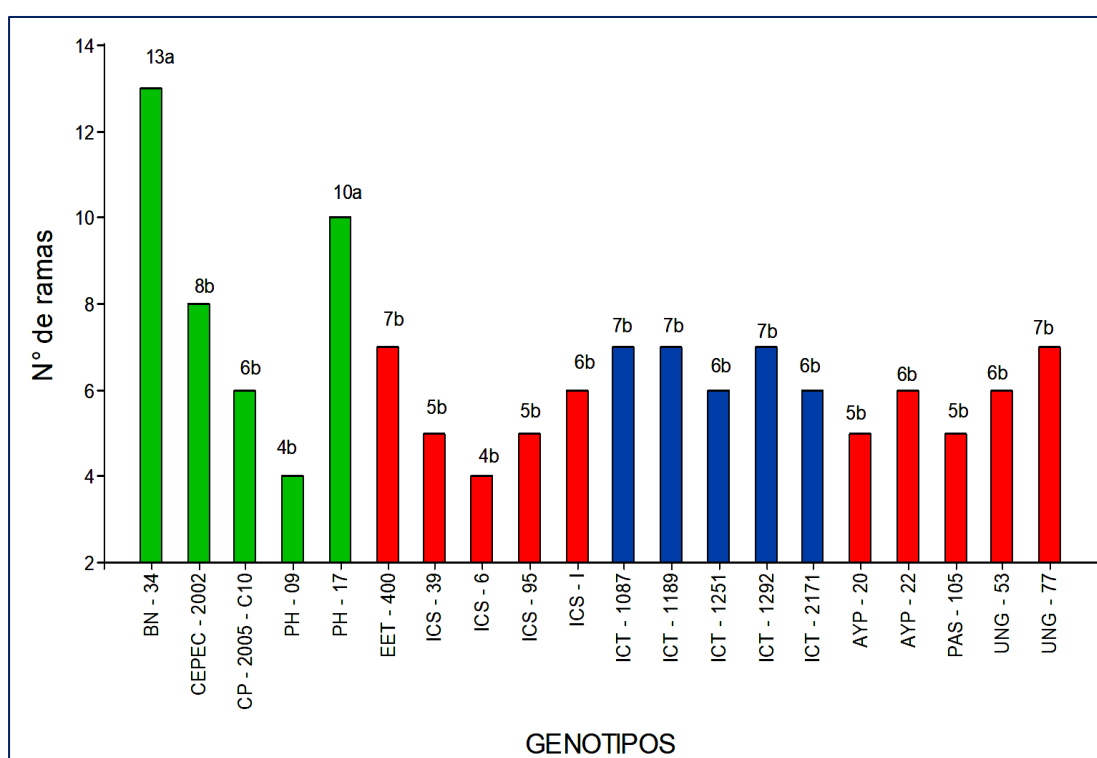


Gráfico 5: Número de ramillas por planta con relación a los Genotipos

En el grafico 6, se muestra el número de ramas por planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$). En la cual se observa que no existe diferencias significativas entre la interacción tratamiento por genotipo.

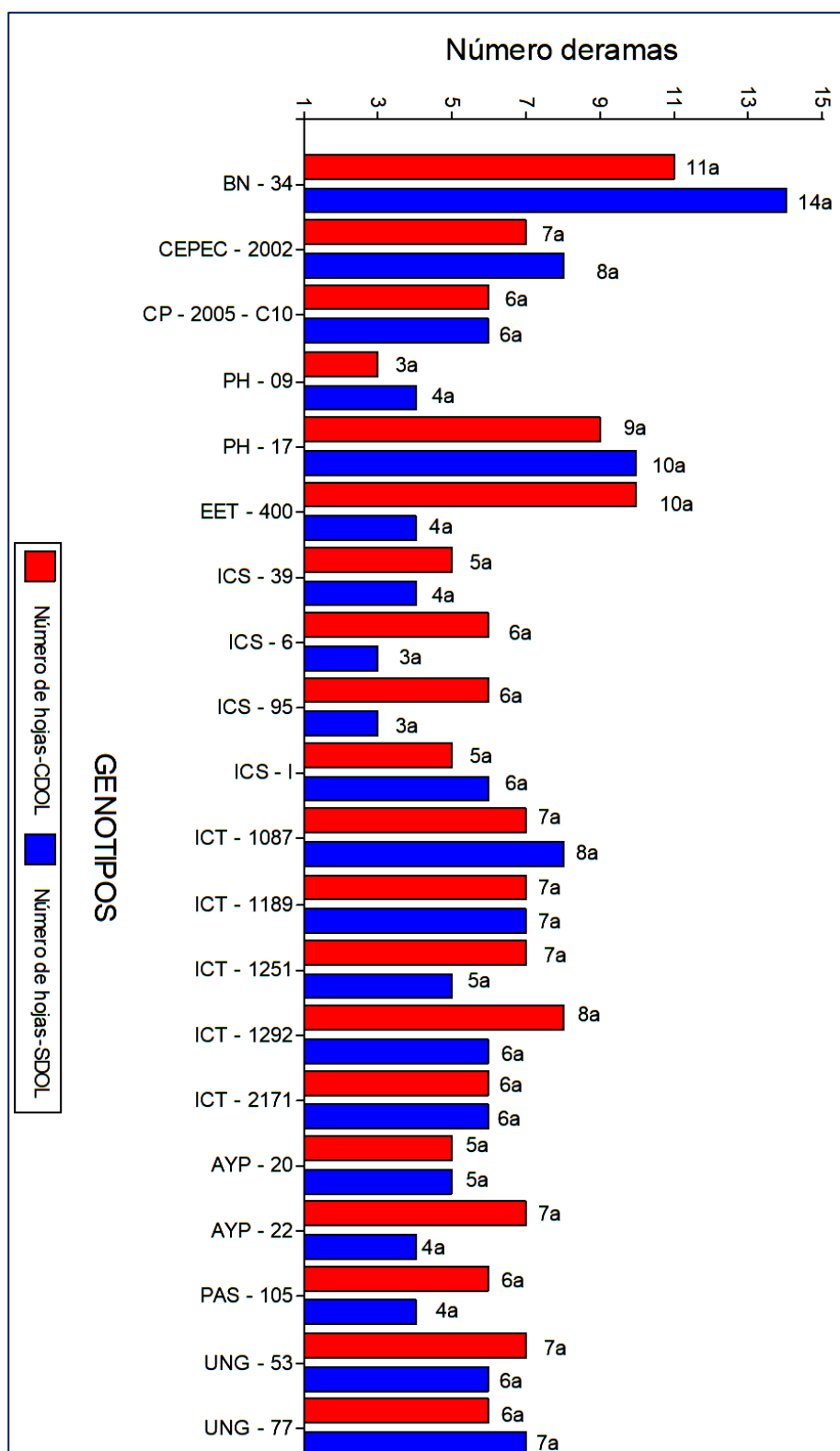


Gráfico 6: Número de ramillas por planta con relación a los tratamientos y los Genotipos.

Los resultados obtenidos sobre el promedio del número de ramillas, muestra que el tratamiento pH 5,88 con < 2.5% de saturación de aluminio donde se refleja el mayor

número de brotes o ramillas con un promedio de 7 por planta a comparación del tratamiento pH 4, 46 con >30% de saturación de aluminio que obtuvieron un promedio de 6 por planta.

Coincidiendo con Gracia y Leon (1979), obtuvieron mayor crecimiento en los tratamientos que tuvieron menor cantidad de aluminio. Al respecto (Casanova., 1999), menciona que la toxicidad de aluminio interfiere con la absorción y transporte de nutrientes como: Ca, Mg, K, P, Fe y otros.

Por su parte (Barceló *et al.*, 1996) y (Poschenrieder *et al.*, 2008), refiere que gran parte de los blancos del aluminio corresponden a componentes de la pared celular, lo cual altera sus propiedades mecánicas afectando la elongación de las células. Asu vez Buchanan (2000), afirma que en los suelos ácidos con pH <5.5 la toxicidad de Aluminio afecta la división celular.

3.4. Número de hojas por planta

Al sistematizar y procesar la información obtenida para el numero de hojas por planta, el análisis de varianza (tabla 6) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos, lo que nos indica que al menos uno resultado ser diferente a los demás.

Tabla 6

Análisis de varianza del número de hojas por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	1068.03	1	1068.03	0.0643 N.S
Genotipo	7976.33	19	419.81	<0.0001 *
Trat*genotipo	1935.63	19	101.88	0.2211 N.S
Error	2907.62	38	76.52	
Total	15866	119		

C.V. = 24.64%

$R^2 = 82\%$

Fuente. Elaboración propia

El grafico 7, muestra los resultados de número de hojas por planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), en donde se aprecia que existe diferencias significativas entre genotipos. En donde que los genotipos de la colección Brasileira

BN –34 y PH – 17 tiene diferencia significativa con CEPEC – 2002, CP 2005 – C10 y PH – 09; por otro lado CEPEC – 2002 tiene diferencias significativas con CP 2005 – C10 y PH – 09.

Por su parte los Genotipos de la colección Internacional EET – 400 tiene diferencias significativas con ICS – 39, ICS – 6, ICS – 95 y ICS – 1. A su vez los genotipos de la colección ICT, ICT – 1087 y ICT – 1292 obtuvo diferencias significativas con ICT – 1251, ICT – 2171 y ICT – 1189. Finalmente, los genotipos de la colección Silvestre PAS – 105 y UNG – 53 tuvieron diferencias significativas con UNG – 77, AYP – 20 y AYP – 22.

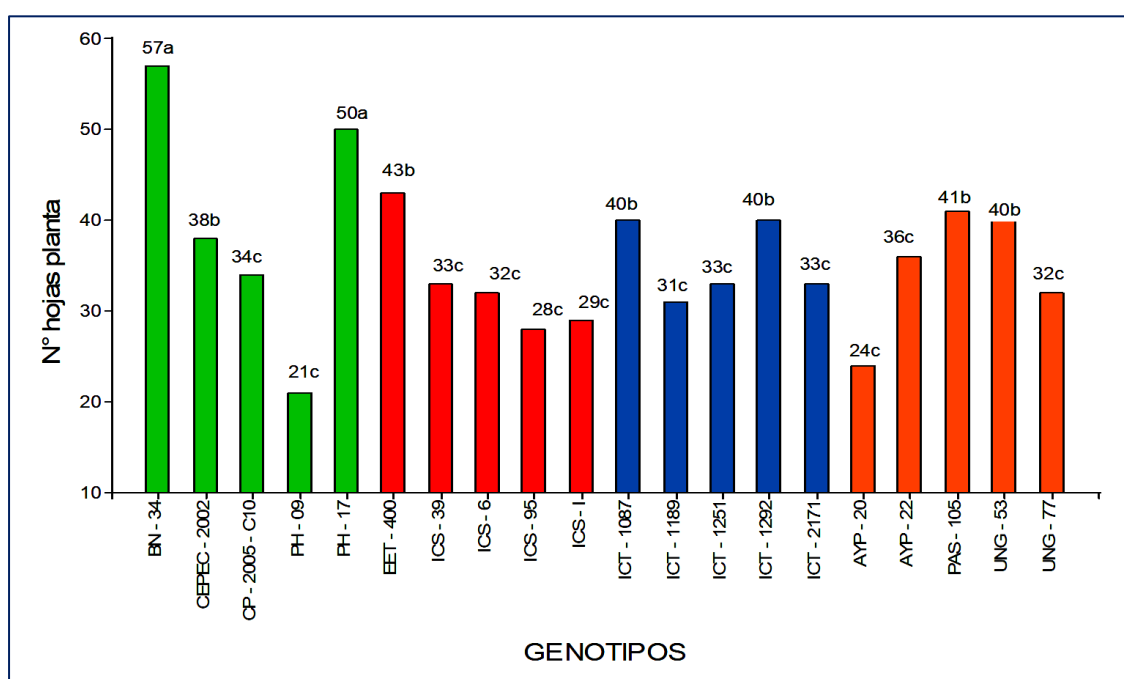


Gráfico 7: Numero de hojas por planta con relación a los Genotipos.

El grafico 8, se muestra el número de hojas por planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), allí se observa que existe diferencias significativas entre tratamiento por genotipo. Donde se encuentra que los genotipos de la colección Brasileira CEPEC – 2002 y BN-34 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas pH 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio.

Por otro lado, los Genotipos de la colección Internacional EET – 400 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas a pH 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio.

A su vez los genotipos de la colección ICT, ICT – 1087, ICT – 1251 y ICT - 1292 del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

Finalmente, en cuanto a los genotipos de la colección Silvestre PAS – 105 y UNG – 53 del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

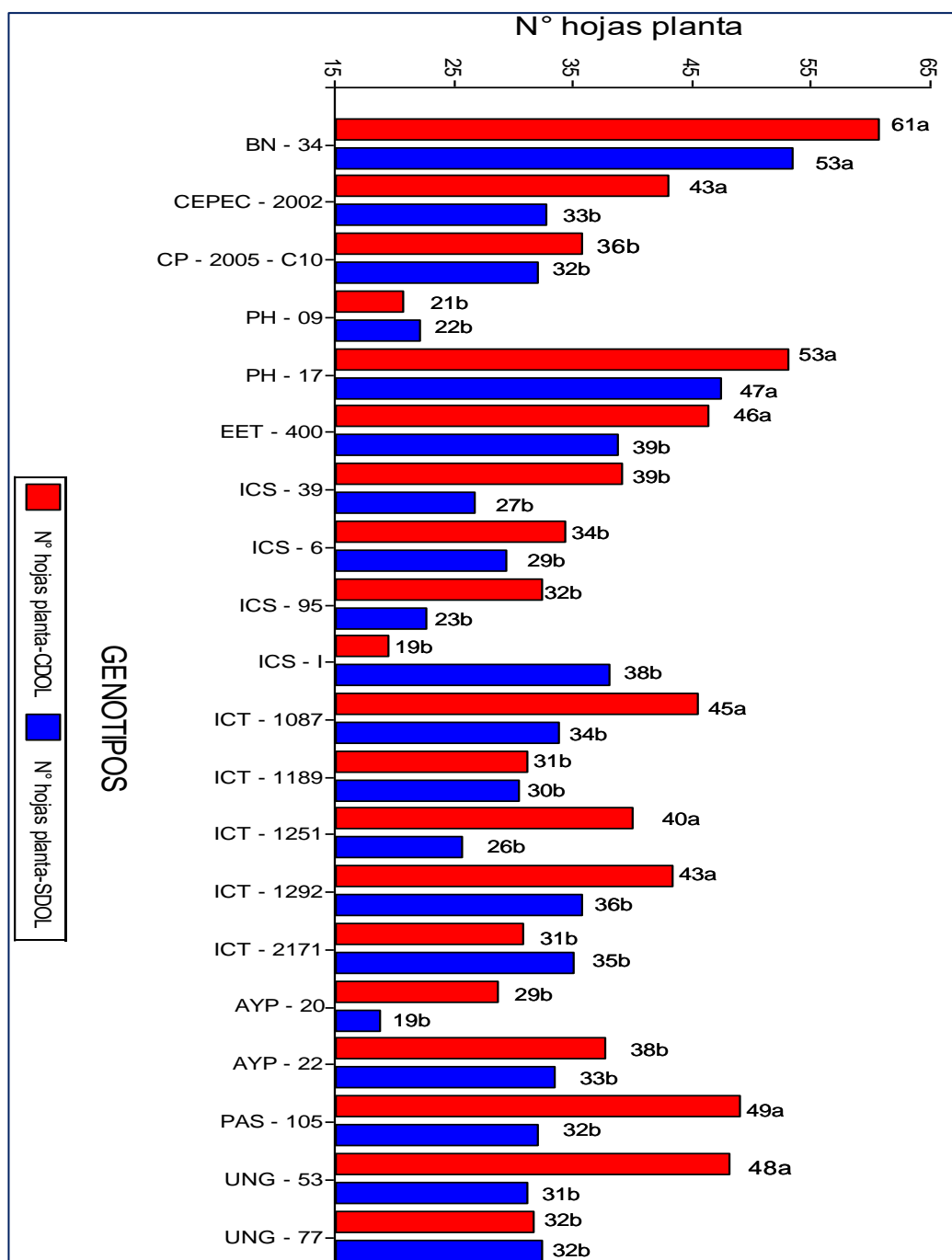


Gráfico 8: Numero de hojas por planta con relación a los tratamientos y los Genotipos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del número de hojas por planta de los genotipos CEPEC – 2002, EET – 400, ICT – 1087, ICT – 1251, ICT – 1292, PAS – 105 y UNG – 53 muestran que tuvieron diferencias significativas en el tratamiento con pH de 5,88 y $< 2.5\%$ de saturación de aluminio a comparación del tratamiento con pH 4,46 y $> 30\%$ de saturación de aluminio.

Coincidiendo con Ruiz (2012), el cual obtuvo, que aumentando la dosis de dolomita mayor es el incremento en número de hojas teniendo al T 4 (1.545 t/ha) con una mayor pendiente y mejor resultado. Esto demuestra que el encalado ayuda en la disponibilidad de nutrientes que son esenciales como el calcio y magnesio que desempeñan funciones en el desarrollo de las plantas.

Al respecto Navarro (2003), menciona que el magnesio es un componente de la clorofila la sustancia responsable de la fotosíntesis; la falta de este elemento reduce la tasa de fotosíntesis. Sin embargo, solamente alrededor de 10% del contenido de Mg de las plantas está asociado con la clorofila ya que también desempeña otras funciones.

Asimismo, GIL (1995), El calcio es acumulado por las plantas, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales.

Horst (2005) menciona que la reducción del sistema radicular trae consigo, la disminución del volumen de suelo que la planta puede explorar para absorber nutrientes.

3.5. Área radicular

Al sistematizar y procesar la información obtenida para área radicular por planta, el análisis de varianza (tabla 7) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos. Asimismo, se tiene que la interacción de tratamiento por genotipo es significativa. Lo que nos indica que al menos uno resulto ser diferente a los demás.

Tabla 7

Análisis de varianza del área radicular por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamientos	26505.81	1	26505.81	0.0233 N.S
Genotipos	350868.28	19	18466.75	<0.0001 *
Trat*genotipo	160934.81	19	8470.25	0.0043 *
Error	118419.91	38	3116.31	
Total	752563.15	119		
C.V. = 17.69%			R ² = 84%	

Fuente. Elaboración propia

El gráfico 9, muestra el área radicular de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), donde se aprecia que existe diferencias significativas entre genotipos. En la cual se observa que los genotipos de la colección Brasileira BN -34 diferencias significativas con CEPEC - 2002, CP 2005 - C10 PH - 09 y PH - 17. Asu vez los Genotipos de la colección Internacional ICS - 6, ICS - 1 y ICS - 39 obtuvieron diferencias significativas con EET - 400 y ICS - 95.

Por otro lado, en los Genotipos de la colección ICT, ICT - 1087, ICT - 1251 y ICT - 1292 tuvieron diferencias significativas con ICT - 1189 y ICT - 2171. En cuanto a los Genotipos de la colección Silvestre PAS - 105 y UNG - 77 tuvieron diferencias significativas a comparación con AYP - 22 y UNG - 53, a su vez AYP - 22 y UNG - 53 tuvieron diferencias significativas con AYP - 20.

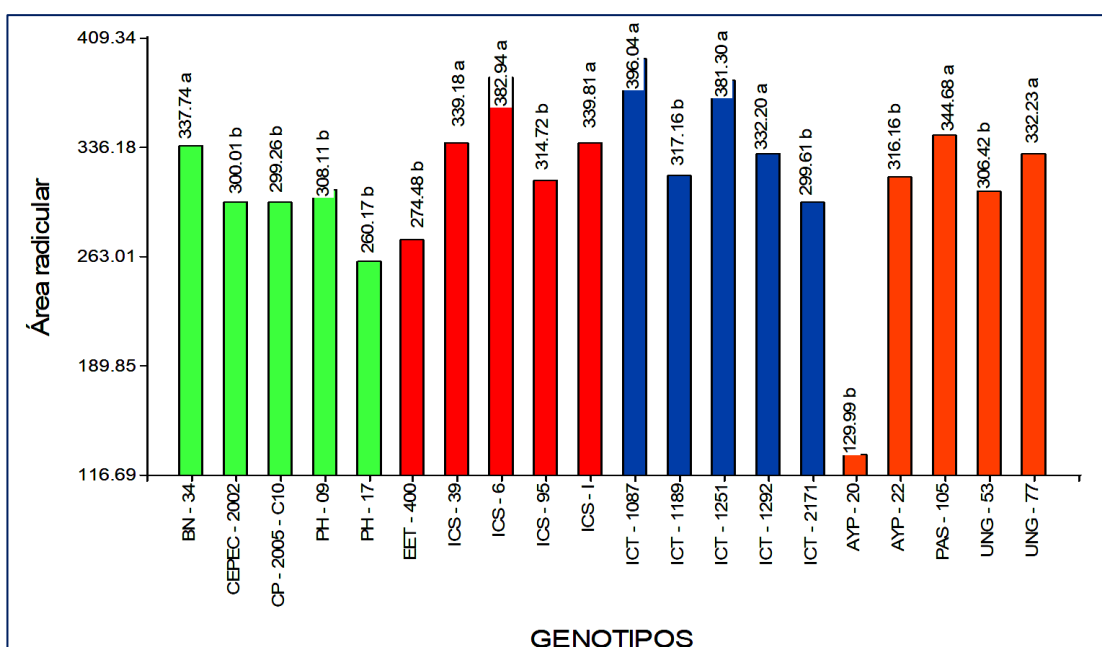


Gráfico 9: Área radicular de la planta con relación a los Genotipos

El grafico 10, muestra el resultado del área radicular de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), observándose que existe diferencias significativas entre la interacción tratamiento por genotipo.

En este se muestra los Genotipos de la colección Internacional ICS – 6 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio; a su vez ICS -39, ICS - 95 y ICS – 1 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

En cuanto para los Genotipos de la colección ICT, ICT - 1292 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con $> 30\%$ de saturación de aluminio; a su vez ICT – 1087, y ICT - 1189 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre PAS – 105, UNG – 53 y UNG - 77 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

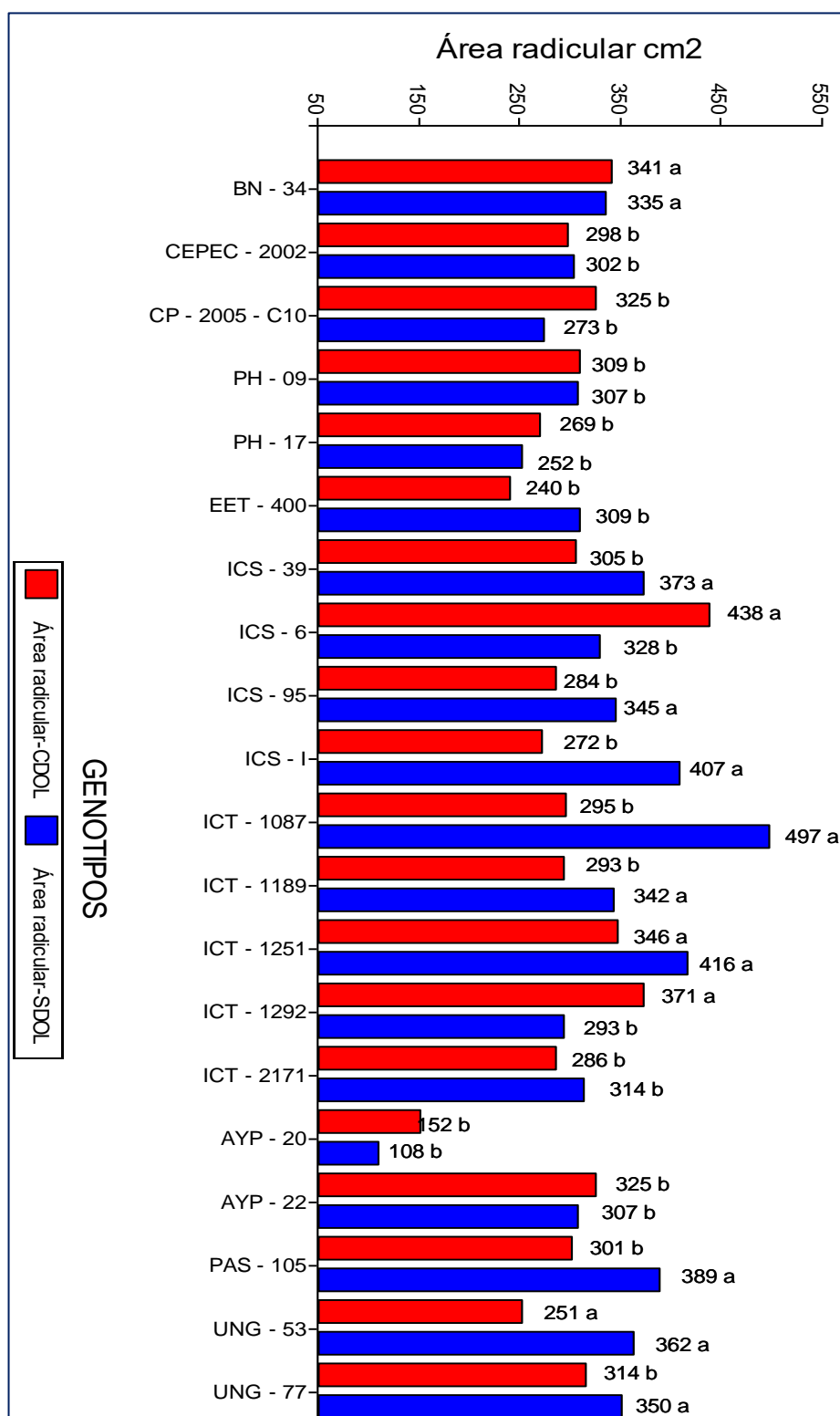


Gráfico 10: Área radicular de las plantas con relación a los tratamientos y los Genotipos

De acuerdo con los resultados los genotipos ICS – 6 y ICT - 1292 del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tuvieron mayor área radicular a

comparación del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio. Al respecto Sivaguru & Horst (1998) refiere que la zona de transición de la raíz es la más sensible a aluminio, está localizada entre la zona de división celular activa y la zona de elongación celular rápida.

Confirma los resultados obtenidos del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio con (Panda *et al.*, 2013), que afirma cuando la cantidad de aluminio en el sustrato es alta, la disminución de la absorción catiónica está relacionada con la inhibición del crecimiento radicular, por la deficiencia de nutrientes esenciales como el K^+ que contribuye a la expansión y multiplicación celular que se ven afectada su absorción en presencia de Aluminio.

Por otro lado, los resultados obtenidos muestran que los genotipos ICS -39, ICS -95, ICS - 1, ICT - 1087, ICT - 1189, PAS - 105, UNG - 53 y UNG - 77 del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas con respecto a pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio.

Coincide con Nazar (2011), que observó que al aumentar la dosis de dolomita para llevar a la neutralidad el suelo en estudio, la producción de materia seca en la parte radicular decreció de todos los tratamientos, excepto el testigo sin dolomita.

Por su parte PEREZ (1986), menciona que esto probablemente ocasionó un sobreencalamiento. De acuerdo a ello, la tendencia de llevar los suelos a reacciones neutras, no es recomendable en los suelos de Trópico Húmedo, por un posible desbalance nutricional con elementos como el manganeso, potasio, fierro, zinc, magnesio, cobre y boro

3.6. Área foliar

Al sistematizar y procesar la información obtenida para área foliar por planta, el análisis de varianza (tabla 8) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipo y tratamiento, lo que nos indica que al menos uno resultó ser diferente a los demás.

Tabla 8

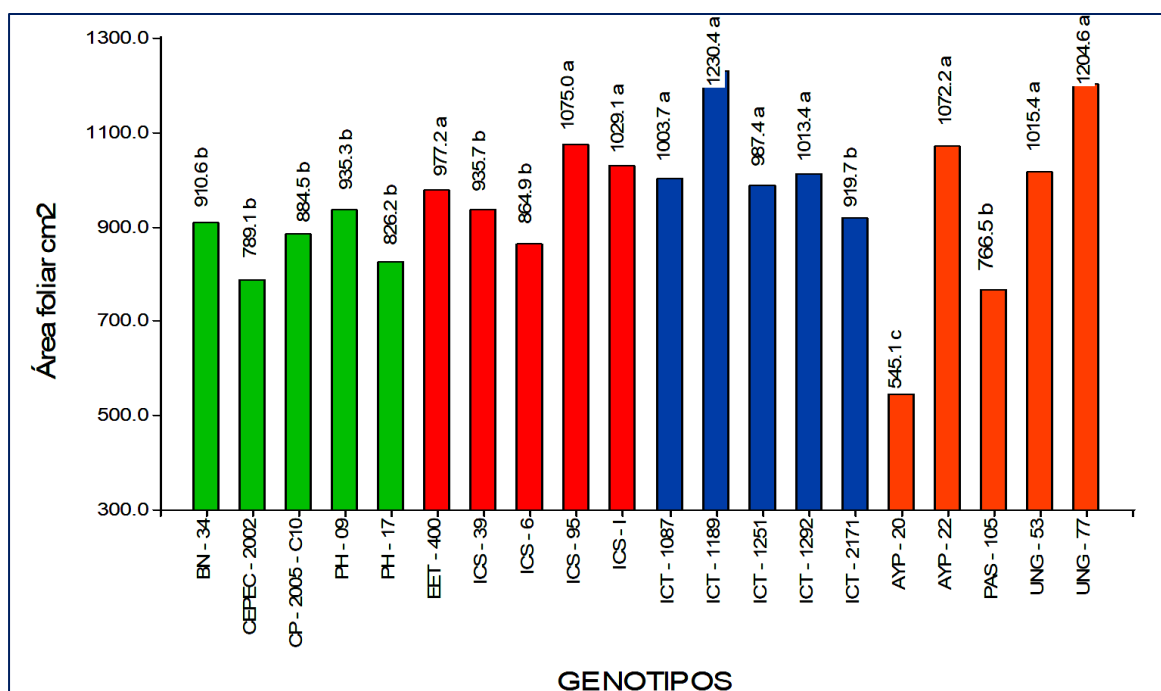
Análisis de varianza del área foliar por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	49493.68	1	49493.68	0.1755 N.S
Genotipo	2680991.4	19	141104.81	0.0001 *
Trat*genotipo	1296119.08	19	68216.79	0.0352 *
Error	1303796.02	38	34310.42	
Total	7845641.19	119		
C.V. = 19.51%			R ² = 83%	

Fuente. Elaboración propia

En el grafico 11, se muestra el área foliar de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), en este se observa que existe diferencias significativas entre genotipos. En donde se observa que los Genotipos de la colección Brasileira no muestran diferencias significativas. A su vez los Genotipos de la colección Internacional ICS – 95, ICS – 1 y EET – 400 tuvieron diferencias significativas con ICS – 39 y ICS – 6. En cuanto a los Genotipos de la colección ICT, ICT – 1189, ICT – 1292, ICT – 1087 y ICT – 1251 tuvieron diferencias significativas con ICT – 2171.

Por su parte los Genotipos de la colección Silvestre AYP – 22, UNG – 53 y UNG – 77 obtuvieron diferencias significativas a comparación con PAS – 105, asimismo PAS – 105 obtuvo diferencias significativas con AYP – 20.

**Gráfico 11:** Área foliar de la planta con relación a los genotipos

El grafico 12, muestra el área foliar de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), observándose que existe diferencias significativas entre tratamiento por genotipo. Apareciéndose así los genotipos de la colección Brasileira BN – 34 y PH - 17 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio. Asimismo CP – 2005 – C10 y PH – 09 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

Por otro lado, los Genotipos de la colección Internacional ICS - 39 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio, a su vez ICS - 6 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

En cuanto a los Genotipos de la colección ICT – 1251 y ICT - 2171 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre PAS – 105 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio.

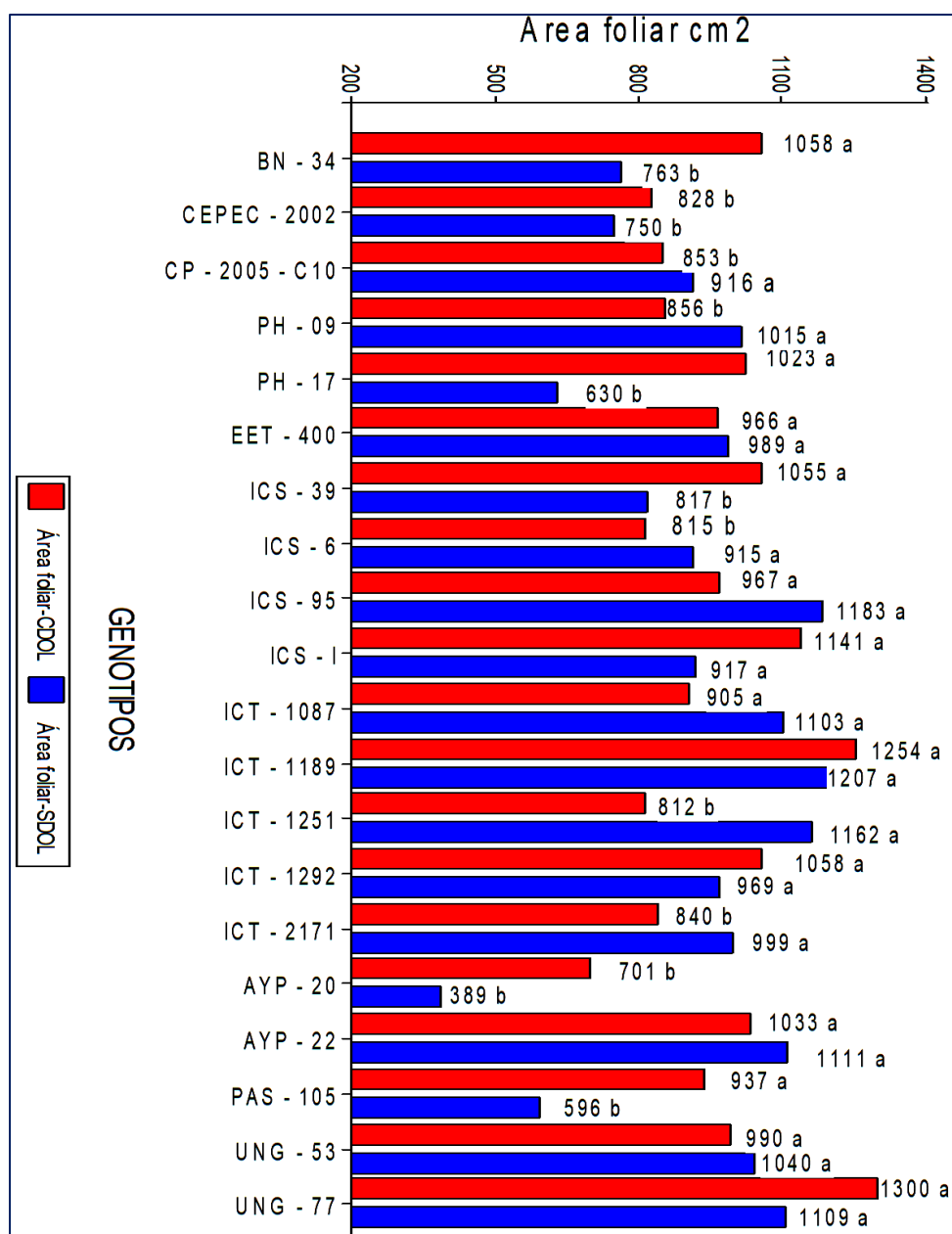


Gráfico 12: Área foliar de la planta con relación a los tratamientos y los Genotipos.

De acuerdo a los resultados se aprecia que los genotipos BN – 34, PH – 17, ICS – 39 y PAS – 105 del tratamiento pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

El comportamiento de estos resultados coincide con REALI (2000), quien menciona que los síntomas de la toxicidad por aluminio en las plantas causan clorosis y caída prematura de las hojas, estos efectos se deben en parte a la inhibición de la obtención de calcio y magnesio por el bloqueo de canales de membrana plasmáticos por la presencia de aluminio.

Por otro lado, los genotipos CP – 2005 – C10, PH – 09, ICS – 6, ICT – 1251 y ICT – 2171 del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas a pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio.

Al respecto Osaka (1998), refiere que estudios revelan que existen plantas hiperacumuladores con la capacidad de acumular el aluminio. En las especies investigadas no se han encontrado nuevos genes “hiperacumuladores”, sino que son plantas con los mismos genes que sus parientes cercanos que poseen maquinaria genética que capta metales a una velocidad muy baja.

Lo cual sugiere que las plantas que acumulan aluminio han desarrollado mecanismos eficientes para usar bajas concentraciones de otros elementos esenciales para crecer en suelos ácidos.

Asimismo, Valadez et al. (2007) menciona que la tolerancia en las plantas es atribuida a la producción de mayor cantidad de ácidos orgánicos que interactúan con el aluminio y con la capacidad de remover aluminio a través de la compartimentalización en vacuolas.

3.7. Biomasa fresca

Al sistematizar y procesar la información obtenida para biomasa fresca por planta, el análisis de varianza (tabla 9) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos, lo que nos indica que al menos uno resulto ser diferente a los demás. Asimismo, se determinó que la interacción de tratamiento por genotipo tiene diferencias significativas.

Tabla 9:

Análisis de varianza de la biomasa fresca por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	85.11	1	85.11	0.6383 N.S
Genotipo	28437.05	19	1496.69	<0.0001 *
Trat*genotipo	7291.05	19	383.74	0.0091 *
Error	5945.15	38	156.45	
Total	49347.32	119		
C.V. = 11.41%			$R^2 = 88\%$	

Fuente. Elaboración propia

En el grafico 13, se muestra la biomasa fresca de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), allí se observa que existe diferencias significativas entre genotipos. Apreciándose que los genotipos de la colección Brasileira BN -34, CEPEC - 2002 y CP 2005 - C10 y PH - 09 tuvieron diferencias significativas con PH - 17. Por otro lado, los genotipos de la colección Internacional ICS - 95 obtuvo diferencias significativas con ICS - 39, ICS - 6, EET - 400 y ICS - 1.

A su vez, en los Genotipos de la colección ICT, ICT - 1087 y ICT - 1189 obtuvo diferencias significativas con ICT - 2171, ICT - 1292 y ICT - 1251. Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre UNG - 53 y UNG - 77 tuvieron diferencias con AYP - 22 y PAS - 105, asimismo AYP - 22 y PAS - 105 tuvieron diferencias significativas a comparación con AYP - 20.

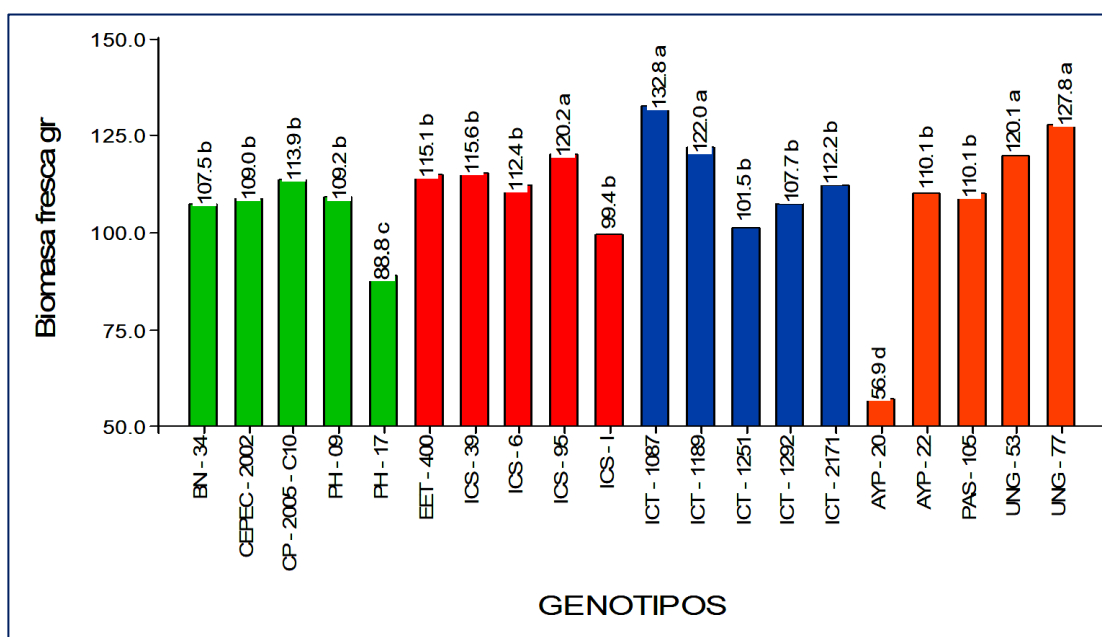


Gráfico 13: Biomasa fresca de la planta con relación a los Genotipos

EL grafico 14, por su parte muestra la biomasa fresca de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), allí se observa que existe diferencias significativas entre tratamiento por genotipo.

Apreciándose que los genotipos de la colección Brasileira PH - 17 del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

En cuanto a los genotipos de la colección Internacional ICS - 1 del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio.

Por otro lado, los genotipos de la colección ICT no tienen diferencias significativas. A su vez los genotipos de la colección Silvestre AYP- 20 del tratamiento pH 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

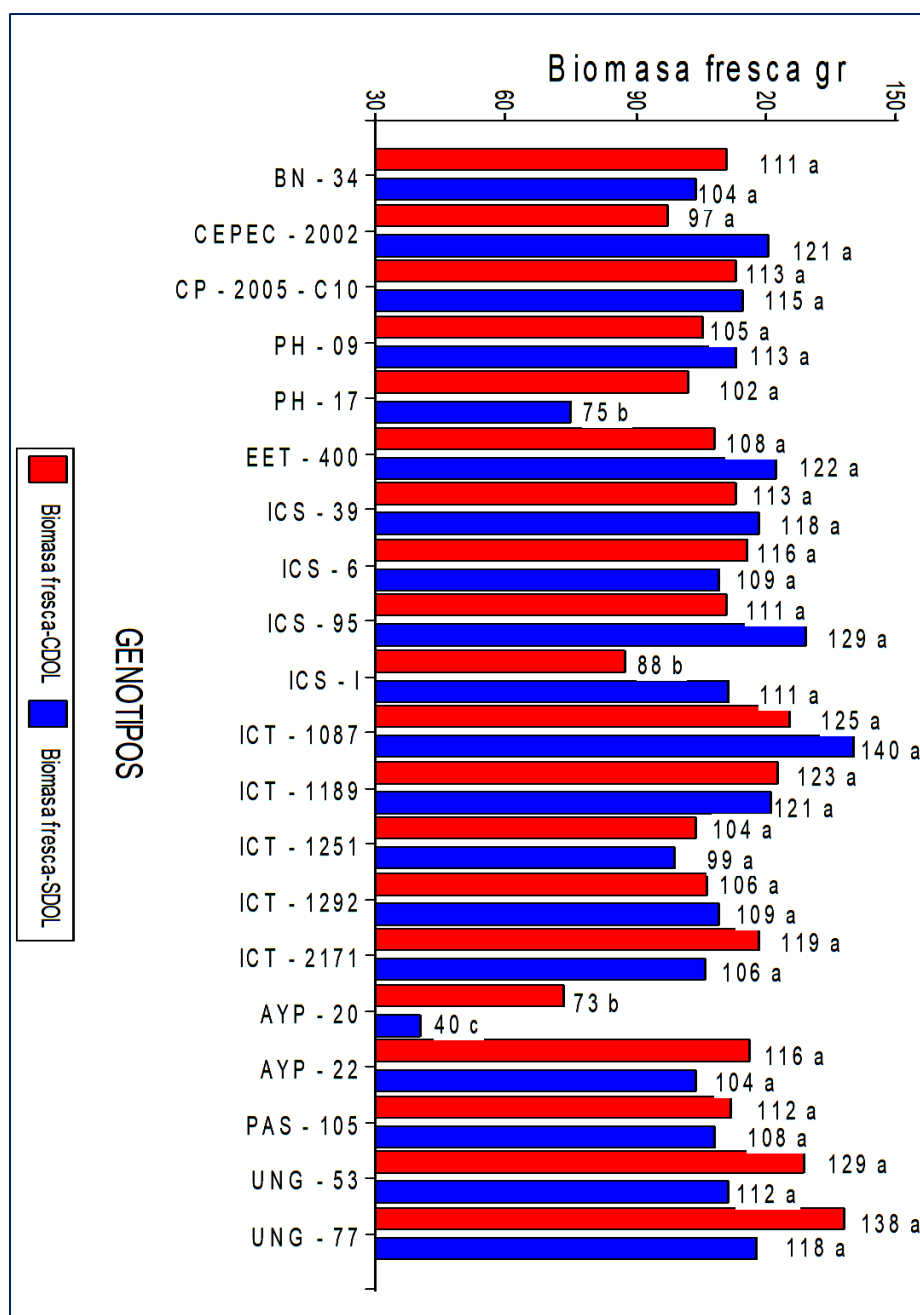


Gráfico 14: Biomasa fresca de la planta con relación a los tratamientos y los Genotipos

De acuerdo con los resultados sobre la Biomasa fresca, los genotipos PH – 17 y AY – 20 del tratamiento pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio tuvieron diferencias significativas a pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

Coincide con la investigación (Pérez, 1986), de acuerdo a sus resultados donde concluyo que a mayor dosis de cal mayor es la producción de biomasa. Asimismo, Rengel (1996), menciona que estudios realizados en cultivos con suelos ácidos, el aluminio es fijado en las raíces de las plantas y se encuentra en la pared celular. Así como también que el aluminio es el responsable del rápido e irreversible desplazamiento del calcio de la pared afectando la división celular.

Según (Huang *et al.*, 2003), refiere que, como consecuencia de la fitotoxicidad por aluminio en las plantas, ocurren daños estructurales y funcionales a nivel de membrana. Afectando directamente en el desarrollo de la planta.

Por otro lado, el genotipo ICS - 1 ICS - 1 del tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio. Coincidiendo con (Nazar, 2011), donde observo que hay una disminución de biomasa de todos los tratamientos, excepto el testigo sin dolomita que es superior (0,62 gr) a un nivel de 60% de acidez cambiante.

Al respecto (Arroyave *et al.*, 2013) menciona que algunas plantas tienen mecanismos de tolerancia a aluminio. Que consiste en la exclusión de aluminio para prevenir su penetración al interior de las células involucrando barreras físicas o exudación de compuestos a través de la raíz.

3.8. Longitud de raíz

Al sistematizar y procesar la información obtenida para la longitud de la raíz por planta, el análisis de varianza (tabla 10) determinó la existencia de diferencias significativas ($P < 0,05$) para la fuente de variabilidad genotipos, lo que nos indica que al menos es diferente a los demás.

Tabla 10

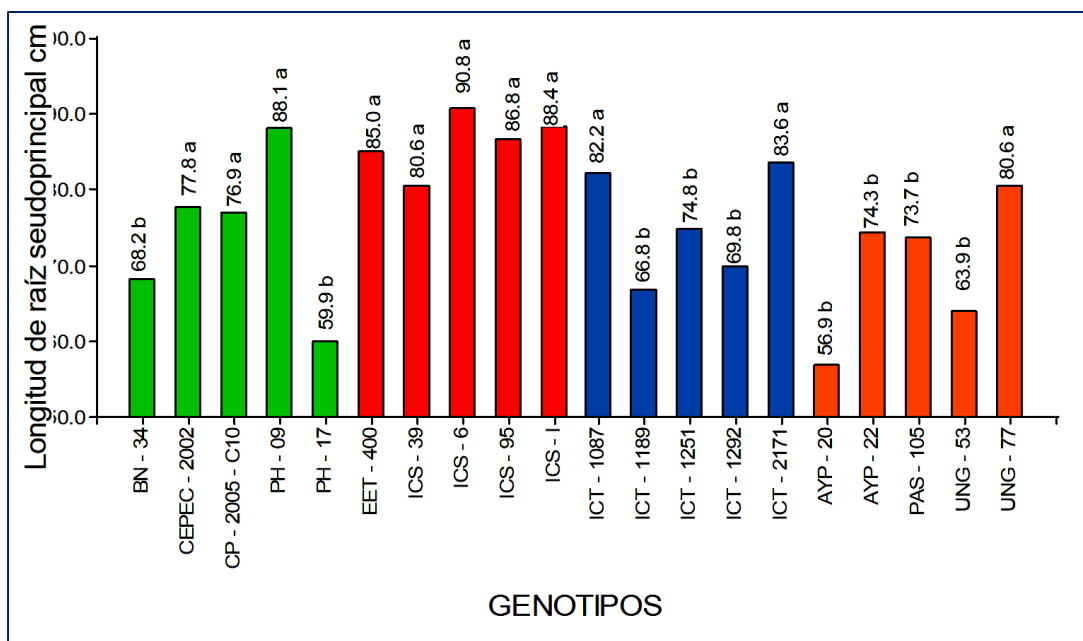
Análisis de varianza de la longitud raíz por planta

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	P-valor Sig.
Tratamiento	774.4	1	774.4	0.1308 N.S
Genotipo	10916.12	19	574.53	0.0001 *
Trat*genotipo	4488.92	19	236.26	0.0674 N.S
Error	5090.42	38	133.96	
Total	28164.69	119		
C.V. = 15.14%			$R^2 = 82\%$	

Fuente. Elaboración propia

En el grafico 15, se muestra la longitud de raíz de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), observándose que existe diferencias significativas entre genotipos. Donde se aprecia que entre los genotipos de la colección Brasileira PH – 09, CEPEC – 2002 y CP 2005 – C10 tuvieron diferencias significativas a comparación con BN – 34 y PH – 17.

A su vez los Genotipos de la colección Internacional no muestran diferencias significativas. Por su parte los Genotipos de la colección ICT, ICT – 2171 y ICT – 1087 obtuvo diferencias significativas con ICT – 1251, ICT – 1292 y ICT – 1189. Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre UNG – 77 obtuvo diferencias significativas con AYP – 22, PAS – 105 UNG – 53 y AYP – 20.

**Gráfico 15:** Longitud de raíz de la planta con relación a los Genotipos

En el grafico 16, se muestra los resultados sobre la longitud de raíz pseudo principal de la planta según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), observándose que existe diferencias significativas entre tratamiento por genotipo.

Apreciándose que los genotipos de la colección Brasileira PH - 09 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio, asimismo, BN - 34, CEPEC - 2002 y CP - 2005 - C10 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

Por su parte, los Genotipos de la colección Internacional ICS - 39 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

A su vez, los Genotipos de la colección ICT, ICT - 1087 del tratamiento pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio, por otro lado, ICT - 2171 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

Finalmente, los Genotipos de la colección Silvestre PAS - 105 y UNG - 77 del tratamiento pH 4.46 con $>30\%$ de saturación de aluminio tiene diferencias significativas en comparación a pH 5.88 con $< 2.5\%$ de saturación de aluminio.

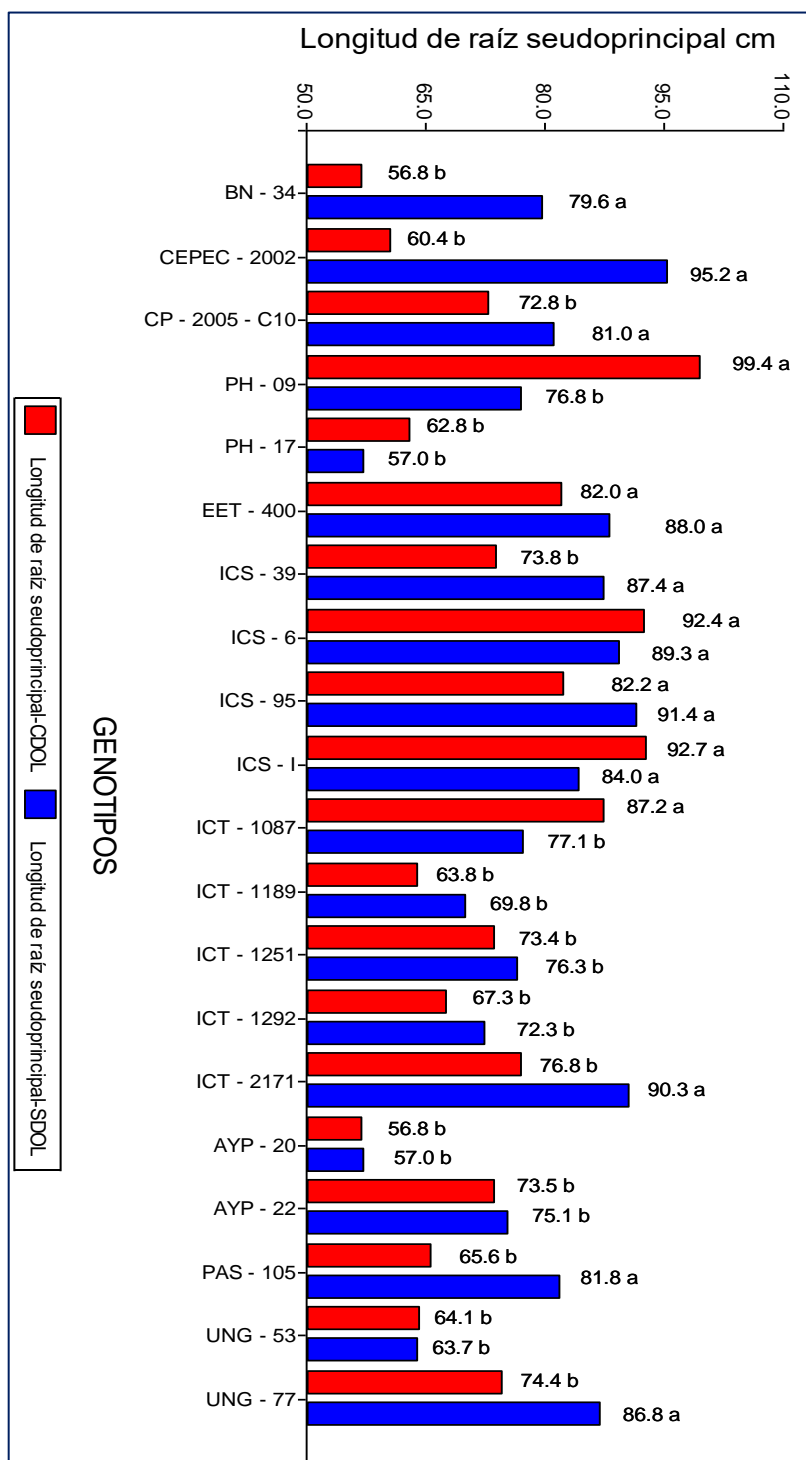


Gráfico 16: Longitud de raíz de la planta con relación a los tratamientos y los genotipos

En cuanto a los resultados obtenidos de los genotipos PH – 09, ICT – 1087 del tratamiento pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio que tuvieron diferencias significativas con el tratamiento pH 4.46 con >30% de saturación de aluminio.

Lo cual coincide con Nazar (2011), obtuvo los resultados de los tratamientos con dolomita fueron superiores en longitud de raíz (12.33 cm -13,11 cm) a comparación con el tratamiento testigo T1 (11 cm) el que obtuvo el menor promedio en longitud de raíces. Coincidiendo con (Alam *et al.*, 1979), que señalan que el crecimiento longitudinal de la raíz principal se reduce y se favorece el crecimiento y proliferación de las raíces laterales, que, con el tiempo, también acaban inhibiendo su crecimiento.

Así mismo (Kochian *et al.*, 2005), que menciona que en condiciones de suelos ácidos (pH 5.5 - 4.5, o <4.5) los iones aluminio (Al^{3+}) se solubilizan y pueden penetrar células radiculares, lo cual inhibe el crecimiento de las raíces y dificulta la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y calcio.

Asu vez (Matsumoto *et al.*, 1976), (Chang *et al.*, 1999) y (MacKinnon *et al.*, 2004), que menciona que la fitotoxicidad del aluminio en las plantas trae como consecuencia retraso en el crecimiento de la raíz y abundancia de raíces laterales cortas que se tornan gruesas y frágiles.

Por otro lado, los resultados obtenidos sobre los genotipos BN – 34, CEPEC – 2002, CP – 2005 – C10, ICS - 39 ICT – 2171, PAS – 105 y UNG – 77 del tratamiento pH 4,46 con >30% de saturación de aluminio que tuvieron diferencias significativas con el tratamiento pH de 5.88 con < 2.5% de saturación de aluminio.

Asu vez (Nazar, 2011), también obtuvo resultados menores en promedio en longitud de raíz en los tratamientos con mayor concentración de dolomita T6 (1.94gr) con 12.39 cm y T7 (2.33gr) con 12.39 cm a comparación del tratamiento T4 (1.16 gr) con 13.11 y T5 (1.55 gr) con 13 cm. Lo cual indica que existe genotipos que tienen mejores resultados sometidas a condiciones de pH 4.38 con saturación de bases del 37.7 % y 35%.

Por su parte (Barceló *et al.*, 2002), afirma que el mecanismo de acción de las plantas frente a los suelos extremadamente ácido (pH < 4,5), está relacionado con estimulación de reacciones que llevan a la activación general del metabolismo.

Asimismo, (Jones *et al.*, 2006), estudios realizados en suelos ácidos con saturación de aluminio. Los resultados refieren que dentro de las barreras físicas que evitan la entrada a aluminio en plantas se destaca la permeabilidad selectiva de la membrana

plasmática frente al flujo de aluminio, la formación de barrera de pH en la rizosfera que inmoviliza el aluminio en la pared celular gracias a la producción de calosa.

La calosa se produce en la pared celular por enzimas llamadas calosa sintetas y se produce en respuesta al daño mecánico, infección de patógenos, presencia de aluminio.

3.9. Índice de tolerancia a saturación de aluminio

Los resultados, rangos e interpretación son de acuerdo al protocolo de (Baligar *et al.*, 1993), en donde se denominan en tres grupos: No tolerante, Medio tolerante y Tolerante.

Tabla 11

Rangos de la saturación de aluminio en suelos

Rango	Denominación
< 90	No tolerante
90-110	Medio tolerante
111 - 130	Tolerante

Los genotipos tolerantes son: CEPEC-2002 y ICS-1; los medios tolerantes son: BN-34, CP-2005-C10, PH-09, EET-400, ICS-39, ICS-95, ICT-1087, ICT-1189, ICT-1251, ICT-1292 y AYP-22; los no tolerantes son: PH-17, ICS-6, ICT-2171, AYP-20, PAS-105, UNG-53, UNG-77.

Tabla 12

Genotipos con relación al índice de tolerancia a saturación de aluminio y su respectiva denominación.

Genotipo	Peso seco/ sin dolomita	Peso seco/ con dolomita	Índice De tolerancia a saturación de aluminio	Denominación
BN-34	44.52	45.18	98.5466	Medio tolerante
CEPEC-2002	46.62	40.42	115.348	Tolerante
CP-2005-C10	48	45.96	104.431	Medio tolerante
PH-09	45.68	44.94	101.647	Medio tolerante
PH-17	37.67	44.44	84.7671	No tolerante
EET-400	41.15	42.82	96.0922	Medio tolerante
ICS-39	41.81	46.13	90.6352	Medio tolerante
ICS-6	40.59	46.59	87.1145	No tolerante
ICS-95	48.64	44.34	109.714	Medio tolerante
ICS-1	40.77	33.50	121.714	Tolerante
ICT-1087	50.32	54.43	92.4551	Medio tolerante
ICT-1189	44.17	46.10	95.8207	Medio tolerante
ICT-1251	37.99	37.30	101.85	Medio tolerante
ICT-1292	41.69	46.05	90.532	Medio tolerante
ICT-2171	41.52	51.40	80.773	No tolerante
AYP-20	17.41	27.44	63.4475	No tolerante
AYP-22	37.42	40.18	93.1149	Medio tolerante
PAS-105	37.28	42.50	87.7176	No tolerante
UNG-53	37.75	44.60	84.6413	No tolerante
UNG-77	40.07	50.34	79.6106	No tolerante

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye que los genotipos tolerantes a la acidez de suelo pH 4,46 con >30% de saturación de aluminio CEPEC - 2002 de la colección Brasileira y ICS - 1 de la colección Internacional, porque presentaron un mayor índice del crecimiento y producción de biomasa durante el periodo de evaluación.
Así mismo se concluye que los genotipos de cacao medianamente tolerantes a la acidez pH 4,46 con >30% de saturación de aluminio son: CP – 2005 - C10 y PH - 09 de la colección Brasileira; EET - 400, ICS - 39 y ICS - 95 de la colección Internacional; ICT - 1087, ICT - 1189, ICT - 1251 y ICT - 1292 de la colección ICT; AYP - 22 de la colección Silvestre.
- ✓ Se concluye que los genotipos que mejor respondieron a la acidez de suelo pH de 5.88 con <2,5% de saturación de aluminio BN – 34, PH – 17, CEPEC – 2002, EET – 400, ICS – 95, ICS – 1, ICT – 1087, ICT – 1292, AYP – 22, UNG – 77 y PAS – 105. Porque presentaron mayor crecimiento y desarrollo; como consecuencia de la práctica de encalado de suelos, demostrando una alternativa eficaz para corregir la acidez del suelo, además de retención de calcio y magnesio.
- ✓ Los genotipos PH-17, ICS-6, ICT-2171, AYP-20, PAS-105, UNG-53 y UNG-77 demostraron susceptibilidad a la acidez pH 4,46 con >30% de saturación de aluminio, por lo tanto, no presentan tolerancia afectando estas condiciones el normal crecimiento y desarrollo de las plantas de cacao.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar el estudio, en campo definitivo con plantas propagadas por injerto con la misma metodología de acidez de suelos con saturación de aluminio en el cultivo de cacao, para evaluar el comportamiento productivo de los genotipos a estudiar.
- ✓ Realizar trabajos de investigación relacionadas al análisis químico de las áreas asimilación afectadas por la mayor concentración de aluminio en la planta de cacao por la saturación del metal.
- ✓ Realizar estudios sobre identificación e investigación de los genes que podrían ser involucrados en tolerancia a la saturación de aluminio en plantas, y los mecanismos de acción en los que participan como una información valiosa que puede ser usada como punto de partida para la obtención de plantas tolerantes a este estrés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agama, J. (2005). *Selección de progenies y plantas élites de cacao (Theobroma cacao L.) mediante la evaluación de características agronómicas y de resistencias a enfermedades*. Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador, Quito –EC. 112 p.
- Aponte de L. M.E.; G. Valencia A. (1983). *Toxicidad de aluminio en plantas de café*. Cenicafe 34(3), 61-97 p.
- Aranzazu F, Menjivar J, Puentes Y. (2014). *Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (Theobroma cacao L.)*
- Arroyave C, Tolrá. R, Thuy T, Barceló J, Poschenrieder. C. (2013) *Differential aluminum resistance in Brachiaria species*. Environmental and Experimental Botany 89:11-18 pp.
- Barceló J, Poschenrieder C. (2002). *Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review*. Environmental and Experimental Botany 48: 75-92.
- Barceló J, Poschenrieder C, Vázquez M, Gunsé B (1996) *Aluminium phytotoxicity. A challenge for plant scientists*. Fertilizer Research 43:217-23.
- Benito, J. (1991). *Tecnificación del cacao en la amazonia peruana*. Fundación para el desarrollo de la amazonia peruana (FUNDEAGRO). Lima, Perú. 156 pág.
- Bernier V. y Alfaro V. (2006), *Acidez de suelos y efectos del encalado*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Blancaflor, E.; Jones. L. y Gilroy. S. (1998). *Alterations in the cytoskeleton accompany aluminum-induced growth inhibition and morphological changes in primary roots of maize*. Plant Physiol. 118(1), 159-172.
- Bruulsema, T. (2000). *Los componentes de los alimentos funcionales*. La participación de los nutrientes minerales. Nutrición y fertilización de la Naranja. Editor Dr.

- José Espinoza. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas. Boletín N° 40. Julio del 2000. www.inpofos.org. Quito – EC. 16 p.
- Buchanan, J. (2000). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, American Society of Plant Biologists, 1230-1237.
- Casanova O. (1999). *Acidez y encalado en suelos del Uruguay*. Facultad de Agronomía. Montevideo-Uruguay.
- Chang Y, Yamamoto Y, Matsumoto H. (1999). *Accumulation of aluminium in the cell wall pectin in culture tobacco (Nicotiana tabacum L.) cells treated with a combination of aluminium and iron*. Plant Cell Environment 22: 1009-1017.
- Cueva, A. (2013). *Texto universitario: Exigencias de suelos y clima del cultivo de cacao*. Tarapoto-Perú. Pag. 16.
- Cumming, J. y Weinstein L. (1990). *Aluminum mycorrhizal interactions in the physiology of pitch pine seedlings*. Plant Soil 125, 7-18 pp.
- Delhaize E, Feng Ma J, Ryan P. (2012). *Transcriptional regulation of aluminium tolerance genes*. Trends in Plant Sciences 17 (6): 341-348 pp.
- Delhaize E, Taylosr P, Hocking P, Simpson R, Ryan P, Richardson A (2009). *Transgenic barley (Hordeum vulgare L.) expressing the wheat aluminium resistance gen (TaALMT1) shows enhanced phosphorous nutrition and grain production when grown on acid soil*. Plant Biotechnology Journal 7:391-400.
- Enríquez, G. (1985). *Curso sobre el cultivo de cacao, Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas (CATIE)*. Turrialba C R. p. 1 – 28; 46 47; 79 – 85 pp.
- Feixa, X. (2001). *Poliaminas y tolerancia al aluminio en variedades tolerantes y sensibles de Zea mays*. Tesis presentada para optar el título de Doctor en Ciencias. Universidad de Barcelona, España.

- Horst Marshner. (2005). *Mineral Nutrition of Higher Plants (Second Edition)*. Academic Press. p.606-623 pp.
- Howells, G. and Dalziel, T. (1992). *Restoring Acid Waters: Loch Fleet 1984-1990*. Elsevier Applied Science, London.
- ICCO (2003). *Fine an flavour cocoa*, Londres. <http://www.icco.org/finecocoa.htm>.
- Ignatieff, V. (1950). *El uso eficaz de los fertilizantes*. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (F.A.O.). Roma – IT. p. 1 –15.
- INPOFOS, (1993). *Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos*. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito – EC. 55 pp.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilización en diversos cultivos – Quinta aproximación*. Manual de asistencia técnica No. 25. Produmedios. Bogotá. 64 p.
- Isla, E. (2009). *Propuesta para el manejo de cacao orgánico. Proyecto “paz y conservación binacional en la cordillera del cóndor, Ecuador – Perú – fase II (componente peruano)”*. Primera edición. Editorial Fundación Conservación Internacional. 7 pág.
- Jones D, Blancaflor E, Kochian L, Gilroy S. (2006). *Spatial coordination of aluminium uptake, production of reactive oxygen species, callose production and Wall rigidification in maize roots*. Plant Cell and Environment 29: 1309-1318.
- Kochian L, Piñeros M, Hoekenga O (2005). *The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity*. Plant and Soil 247: 175-195
- Konrad Mengel and Ernest A. Kirkby, (2001). *Principles of Plant Nutrition, 5th Edition*, Kluwer Academic Publishers, 513-527.
- Lathwell, J. (1979). *Crop Response to Limiting of Ultisols and Oxisols*. Cornell International Agriculture Bulletin 35. Cornell University, Ithaca.

- Ma, J. (2000). *Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants*. Plant Cell Physiol. 41(4), 383-390.
- Mackinnon N, Crowell K, Udit A, Macdonald P. (2004). *Aluminum binding to phosphatidylcholine lipid bilayer membranes: 27 AL and 31P NMR spectroscopic studies*. Chemistry and Physics of Lipids 132: 23-36.
- Macnair M, Tilstone G, Smith S. (2000). *The genetics of metal tolerance and accumulation in higher plants*. En: Terry N., Banuelos G (ed) Phytoremediation of contaminated soil and water. CRC Press LLC, pp 235-250.
- Matzner, E. y J. Prenzel. (1992). *Acid deposition in Germansolling area - Effects on soil solution chemistry and Al mobilization*. Water, Air, Soil Pollut. 61, 221-234 pp.
- Mite, F. y Motato, N. (1993). *Suelos y fertilizantes*. In Suárez, C. ed. *Manual del cultivo de cacao, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, publicado por Estación Experimental Tropical "Pichilingue"*. Segunda edición. Manual No 25. Quevedo EC. p. 70 –89.
- Murrel, T. (2003). *Transformaciones de los nutrientes del suelo*. Editor Dr. José Espinoza. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas. Boletín N° 49. Abril del 2003. www.inpofos.org. Quito –EC. 16 p.
- Navakode S, Weidner A, Lohasser U, Roder M, Börner A. (2009). *Molecular mapping of quantitative trait loci (QTLs) controlling aluminum tolerance in bread wheat*. Euphytica 166 (2): 238-290.
- Nazar J. (2011). *Efecto de la dolomita en el crecimiento del Theobroma cacao L. (CLON CCN - 51) en un suelo ácido bajo condiciones de vivero en Tingo María*.
- Panda S, Sahoo L, Katsuhara M, Matsumoto H. (2013). *Overexpression of Alternative Oxidase Gene Confers Aluminum Tolerance by Altering the Respiratory Capacity and the Response to Oxidative Stress in Tobacco Cells*. Molecular Biotechnology. 54:551-563 pp.

- Paredes, M. (2004). *Manual de cultivo del cacao*. Programa para el desarrollo de la amazonia. Ministerio de Agricultura. 46 pág.
- Paris, H. (1996). *Summer squash: history, and distribution*. HortTechnology 6(1):6-13 pp.
- Pleskot R, Li J, Zársky V, Potock y M, Staiger C. (2013). *Regulation of cytoskeletal dynamics by phospholipase D and phosphatidic acid*. Trends in Plant Science. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.005>.
- Realí; P. (2000). *Deficiencias nutricionales por saturación de aluminio en especies forestales*. Revista Forestal N° 15.
- Rodríguez, N; Ruz, E; Chavarria, J. (1993). *Análisis de suelo*. Instituto de investigaciones agropecuarias. Estación experimental Guilmapu Avda. Vicente Méndez 515 - Casilla 426 – Chillán.
- Rojas, A., Molina. E. y Morales. F. (1996). *Evaluación agronómica de tres fuentes de cal en el cultivo de naranja*. In: X Congreso Agronómico Nacional. Colegio de Ingenieros Agrónomos. San José, Costa Rica. Vol. III. p. 143.
- Rout, G., Samantara, S., y Das, P. (2001). *Aluminum toxicity in plants: A review*. Agronomie, 21(1), 3-21.
- Rowell, D. (1994). *Soil Science Methods & Applications*. Departament of Soil Science, University of Reading.
- Sivaguru, M.; Matsumoto, H. y Horst, W. (2000). *Control of the response to aluminum stress*. En: Nick, P.(ed.). Plant microtubules: Potential for microbiology. Springer, Heidelberg 103-120 pp.
- Taylor, G; McDonald, J; Hunter, D; Bertsch, P; Elmore, D; Rengel, Z; Reid, R. (2000). *Direct measurement of aluminum uptake and distribution in single cells of Chara corallina*. Plant Physiol., 123, 987 – 996 pp.

- Thompson L. y Troeh F. (1982). *Los suelos y su fertilidad*. Cuarta edición. Editorial Reverté. S.A. p. 55 – 57; 188 – 200; 203 – 206 ; 209 – 210.
- Torres, V., Munévar, F., Acosta, G., & Cristancho, A. (2002). *Estudio in situ del sistema radical de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq) mediante el método de lavado de perles*. Ceniavances, 90, 1-6 pp.
- Trejo, T y Gómez M. (2007). *Respuestas Fisiológicas y Bioquímicas de plantas de tabaco a concentraciones de aluminio en invernadero*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.
- Turnbull, C. & Eskes. A. (2004). *Field guide to widely distributed clones. (CD-ROM). Workshop on cocoa germplasm utilization and conservation*. A global approach. CFC/ICCO/IPGRI project. University of Reading, U.K.
- Valadez N, Colli J, Brito L, Muñoz J, Zuñiga J, Castaño E, Hernandez T (2007) *Differential Effect of Aluminum on DNA Synthesis and CDKA Activity in Two Coffea arabica Cell Lines*. Journal of Plant Growth Regulation 26:69-77.
- Valla, J. (2004). *Botánica. Morfología de las plantas superiores*. Ed. Hemisferio Sur.
- Von Uexküll H, Mutert E (1995). *Global extend development and economic impacts of acid soils*. Plant and Soil 171: 1-15 pp.
- Wallnofer, P. y Engelhardt, G. (1995). *Schadstoffeausdem Boden*. 118-140 p. En: Hock, B. y E. Elstner (eds.). *Schadwirkungen auf Pflanzen*. Académica Spektrum, Berlin.
- Wright, R. J. (1989). *Soil aluminum toxicity and plant growth*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 20 (15-16), 1479-1497.
- Yamamoto. Y, Kobayashi. Y, Devi S, Rikiishi, S, Matsumoto, H. (2003). *Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots*. Plant and Soil 255: 239-243.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis del suelo de la muestra base

Nº Solicitud **AS0127-13**
SOLICITANTE **E.E. El Chocino (Att. Ing. Abel Farfan P.)**
PROCEDENCI **Juan Bernito Homo-Bda. De Shilcayo-San Martín-San Martín**
Experim./cultiv **Bosque secundario**

Número de la muestr		pH	C.E dS/m	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	ANÁLISIS MECÁNICO			C.I.C. efectiva	CATIONES CAMBIABLES				Suma de bases	% Sat. de bases	% Sat. de Aluminio				
									Arena	Limo	Arcilla %		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺				Al ^{3++H⁺}			
13	08	0336	M1	4.46	0.08	0.00	1.77	0.08	<4	75	71.96	9.64	18.40	Fra-Are	4.44	1.22	0.60	0.19	0.00	2.00	2.01	45.42	45.08

METODOS :
TEXTURA : HIDROMETRO
pH : POTENCIOMETRO Suspensión Suelo-Agua relación 1:2.5
CONDUC. ELECTRICA : CONDUCTIMETRO Suspensión Suelo-Agua relación 1:2.5
CARBONATOS : GAS - Volumétrico
FOSFORO : OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 Esp. V/s
POTASIO : OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃ 0.5M o Acetato de Amonio 1N, pH 8.5 Esp. Absorción Atómica
MATERIA ORGANICA : WALKLEY y BLACK y sobrelimite por gravimetría (> 10%)
CALCIO Y MAGNESIO : EXTRACT. KCl 1N o Acetato de Amonio 1N Esp. Absorción Atómica
ACIDES INTERC. : EXTRACT. KCl 1N Volumétrica

Nº Solicitud **AS0127-13**
SOLICITANTE **E.E. El Chocino (Att. Ing. Abel Farfan P.)**
PROCEDENCIA **Juan Bernito Homo-Bda. De Shilcayo-San Martín-San Martín**
Experim./cultivo actual **Bosque secundario**

Número de la muestra		Fe		Cu		Zn		Mn		B		S	
Lab.	Campo	MI	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
13	08	0336	M1	141.1	0.70	0.90	6.20	<0.4	<10				

METODOLOGIA :
Fe, Cu, Zn y Mn : OLSEN Modificado extrac. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 y lectura en Abs. Atómica
BORO : Extracción / Espectroscopia UV-Vis (λ=555 nm)
AZUFRE : Extracción / Turbidimetría

Ing. **MSc. Luis Zúñiga Cernades**
Especialista Suelos ICT

Ing. **MSc. Luis Zúñiga Cernades**
Especialista Suelos ICT

Anexo 03: Resultado del análisis de laboratorio después de la estandarización del pH del suelo con dolomita.

Nº Solicitud : AS0164-13
SOLICITANTE : E.E El Chodino (Att. Ing Abel Farfan P.)
PROCEDENCIA : E.E EL Chodino-Bda. De Shicayo-San Martin-San Martin
Exprim./cultivo actual: bosque secundario

Número de la muestra		pH	C.E dS/m	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	ANÁLISIS MECÁNICO			C.I.C. efectiva	CATIONES CAMBIABLES					Suma de bases	% Sat. de bases	% Sat. Aluminio
									Arena	Limo	Arcilla		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
Lab.	Campo								%				meq/100							
											TEXTURAL									
13	12	0775	M1	5.09	0.28	0.00	1.61	134	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	3.05	1.76	0.95	0.34	0.00	0.65	3.05	21.31
13	12	0776	M2	5.30	0.28	0.00	1.57	113	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	3.45	1.95	1.22	0.29	0.00	0.35	3.45	10.14
13	12	0777	M3	5.37	0.35	0.00	1.54	90	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.65	2.00	1.35	2.30	0.00	0.16	5.65	2.85
13	12	0778	M4	5.71	0.34	0.00	1.47	100	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	4.14	2.28	1.60	0.26	0.00	0.08	4.14	2.01
13	12	0779	M5	5.88	0.37	0.00	1.57	99	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	4.32	2.37	1.69	0.25	0.00	0.08	4.32	1.90
13	12	0780	M6	5.90	0.28	0.00	1.53	67	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	4.57	2.51	1.89	0.17	0.00	0.08	4.57	1.79
13	12	0781	M7	6.12	0.41	0.00	1.59	57	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	4.55	2.48	1.92	0.15	0.00	0.08	4.55	1.80
13	12	0782	M8	6.33	0.45	0.00	1.37	88	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	4.98	2.67	2.09	0.23	0.00	0.08	4.98	1.65
13	12	0783	M9	6.38	0.47	0.00	1.31	62	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.06	2.72	2.18	0.16	0.00	0.08	5.06	1.62
13	12	0784	M10	6.42	0.51	0.00	1.50	64	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.08	2.74	2.17	0.16	0.00	0.08	5.08	1.61
13	12	0785	M11	6.50	0.48	0.00	1.45	73	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.16	2.80	2.17	0.19	0.00	0.08	5.16	1.59
13	12	0786	M12	6.59	0.50	0.00	1.49	62	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.32	2.93	2.23	0.16	0.00	0.08	5.32	1.54
13	12	0787	M13	6.69	0.54	0.00	1.44	54	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.19	2.74	2.30	0.14	0.00	0.08	5.19	1.58
13	12	0788	M14	6.70	0.47	0.00	1.54	60	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.22	2.80	2.26	0.15	0.00	0.08	5.22	1.57
13	12	0789	M15	6.74	0.39	0.00	1.51	68	29.96	36.00	34.04	Fra-Arc	5.44	2.89	2.38	0.17	0.00	0.08	5.44	1.51

METODOS :

- TEXTURA

pH

CONDUC. ELECTRICA

CARBONATOS

POSFORO

POTASIO

MATERIA ORGANICA

CALCO Y MAGNESO

ACDES INTERC.
- : HIDROMETRO

: POTENCIOMETRO Suspensión Suelo-Agua relación 1:2.5

: CONDUCTIMETRO Suspensión Suelo-Agua relación 1:2.5

: GAS - Volumétrico

: OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 Esp. V/s

: OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃ 0.5M o Acetato de Amonio 1N, pH 8.5 Esp. Absorción Atómica

: WALKLEY y BLACK y sobre límite por gravimetría (> 10%)

: EXTRACT. KCl 1N o Acetato de Amonio 1N Esp. Absorción Atómica

: EXTRACT. KCl 1N Volumétrica

Ing. MSc. Luis Zúñiga Cernades
Especialista Suelos ICT

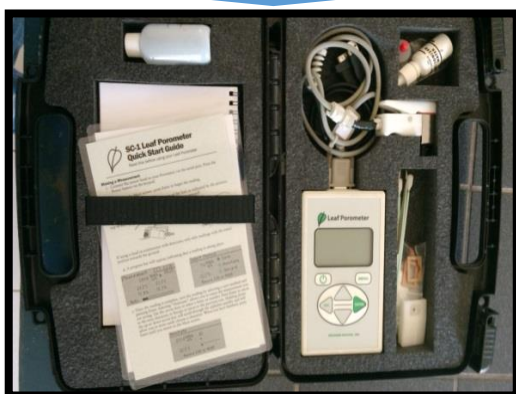
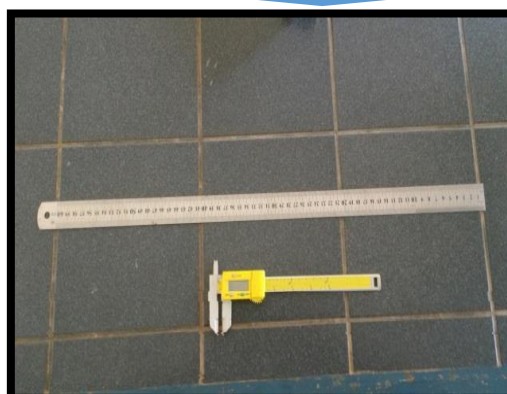
Nº Solicitud : **AS0164-13**
 SOLICITANTE : **E.E. El Choclino (Att. Ing Abel Farfan P.)**
 PROCEDENCIA : **E.E. EL Choclino-Bda. De Shilcayo-San Martín-San Martín**
 Exprim./cultivo actual: **bosque secundario**

Número de la muestra				Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	S (ppm)
13	12	0775	M1	167.50	1.70	1.60	13.10	<0.4	<10
13	12	0776	M2	155.30	1.50	1.40	7.90	<0.4	<10
13	12	0777	M3	103.20	1.30	1.20	6.40	<0.4	<10
13	12	0778	M4	105.90	1.40	1.30	5.20	<0.4	<10
13	12	0779	M5	110.30	1.50	1.20	4.40	<0.4	<10
13	12	0780	M6	66.80	1.20	1.00	4.20	<0.4	<10
13	12	0781	M7	45.40	1.10	0.80	3.40	<0.4	<10
13	12	0782	M8	53.80	1.20	0.90	3.60	<0.4	<10
13	12	0783	M9	40.20	1.20	0.70	2.80	<0.4	<10
13	12	0784	M10	59.20	1.30	0.90	4.10	<0.4	<10
13	12	0785	M11	70.60	1.40	1.10	4.40	<0.4	<10
13	12	0786	M12	64.30	1.40	1.00	4.40	<0.4	<10
13	12	0787	M13	54.50	1.30	0.90	3.60	<0.4	<10
13	12	0788	M14	66.80	1.30	0.90	3.90	<0.4	<10
13	12	0789	M15	44.90	1.30	0.80	3.60	<0.4	<10

METODOLOGIA :

Fe, Cu, Zn y Mn : OLSEN Modificado extrac. NaHCO₃ =0.5M , pH 8.5 y lectura en Abs. Atómica
 BORO : Extraccion / Espectroscopia UV- Vis (λ=555 nm)
 AZUFRE : Extraccion / Turbidimetría

Ing. MSc. Luis Zúñiga Cernades
 Especialista Suelos ICT

Anexo 04: Equipos y evaluaciones biométricas de los plántones.**EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA LA EVALUACIÓN****Leaf Porometer-Model SC-1****Vernier digital y regla****Hansatech-Model CL-01**

Continuación del Anexo 05.

EVALUACIONES DE LOS PLANTONES